

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1903-1904 — N° 177

LA LUMIÈRE ET LA VIE

*Etude des différentes modalités de la lumière
au point de vue physique, physiologique et thérapeutique*

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 20 Juillet 1904

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Thomas NOGIER

Préparateur de Physique biologique à la Faculté de Médecine

Chargé d'un Service électrothérapique à l'Hôtel-Dieu

Licencié es-sciences

Né à Lyon (Rhône), le 16 Juillet 1874



LYON

IMPRIMERIE WALTENER & C^{ie}

3, Rue Stella, 3

—
1904

LA LUMIÈRE ET LA VIE

*Etude des différentes modalités de la lumière
au point de vue physique, physiologique et thérapeutique*

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1903-1904 — N° 177

LA LUMIÈRE ET LA VIE

*Etude des différentes modalités de la lumière
au point de vue physique, physiologique et thérapeutique*

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 20 Juillet 1904

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Thomas NOGIER

Préparateur de Physique biologique à la Faculté de Médecine

Chargé d'un Service électrothérapique à l'Hôtel-Dieu

Licencié ès-sciences

Né à Lyon (Rhône), le 16 Juillet 1874



LYON

IMPRIMERIE WALTENER & C^{ie}

3, Rue-Stella, 3

—
1904

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. LORTET. DOYEN.
HUGOUNENQ. ASSESSEUR.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. PAULET, CHAUVÉAU

PROFESSEURS

Cliniques médicales	{	MM. LÉPINE. BONDET. BARD. PONCET. JABOULAY. X...
Cliniques chirurgicales	{	GAYET. GAILLETON. PIERRET. WEILL. MONOYER. HUGOUNENQ. CAZENEUVE. BEAUVISAGE. LORTET. TESTUT. RENAUT. MORAT. TEISSIER. AUGAGNEUR. MAYET. TRIPIER. POLLOSSON (M.) ARLOING. LACASSAGNE. COURMONT (J.) SOULIER. FLORENCE.
Clinique obstétricale et Accouchements.		
Clinique ophtalmologique		
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.		
Clinique des maladies mentales		
Clinique des maladies des enfants		
Physique médicale		
Chimie médicale et pharmaceutique		
Chimie organique et Toxicologie		
Matière médicale et Botanique		
Parasitologie		
Anatomie		
Anatomie générale et Histologie.		
Physiologie.		
Pathologie interne		
Pathologie externe.		
Pathologie et Thérapeutique générales		
Anatomie pathologique		
Médecine opératoire		
Médecine expérimentale et comparée.		
Médecine légale		
Hygiène		
Thérapeutique.		
Pharmacologie		

PROFESSEUR ADJOINT

Physiologie, cours complémentaire DOYON.

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Clinique des maladies des femmes.	MM. POLLOSSON (A.) agrégé
Maladie des voies urinaires	CHANDELUX, —
Maladies des oreilles, du nez et du larynx.	LANNOIS, —
Propédeutique médicale	ROQUE, —
Propédeutique chirurgicale	ROLLET, —
Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN, —
Anatomie pathologique	DEVIC, —
Accouchements	FABRE, —
Matière médicale	MOREAU, —
Anatomie topographique	DURAND —

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
ROUX.	SIRAUD.	BÉRARD.	VILLARD.
COLLET.	DURAND.	SAMBU.	TIXIER.
BOYER.	PIC.	BORDIER.	FABRE.
BARRAL.	PAVIOT.	COURMONT (P.).	REGAUD.
MOREAU.	NOVÉ-JOSSERAND.	CHATIN.	CAUSSE, ch...
VALLAS.			

M. BAYLE, Secrétaire

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

M. MONOYER, Président; M. BONDET, Assesseur;
MM. ROQUE et COURMONT (P.), Agrégés.

La Faculté de Médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les Dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

INTRODUCTION

« Lumière ! plus de lumière encore ! » Tel fut le dernier mot de Goëthe. Ce mot du génie expirant, c'est le cri général de la nature, et il retentit de monde en monde. Ce que disait cet homme puissant, l'un des aînés de Dieu, ses plus humbles enfants, les moins avancés dans la vie animale... le répètent ; ils ne veulent point vivre partout où la lumière n'atteint pas. La fleur veut la lumière, se tourne vers elle et sans elle languit. Nos compagnons de travail, les animaux, se réjouissent comme nous, ou s'affligent, selon qu'elle vient ou s'en va...

« Cet été, me promenant dans mon jardin, j'entendis, je vis sur une branche un oiseau qui chantait au soleil couchant ; il se dressait vers la lumière et il était visiblement ravi... Je lui dis avec des larmes : Pauvre fils de la lumière, qui la réfléchis dans ton chant, que tu as donc raison de chanter ! La nuit pleine d'embûches et de dangers pour toi, ressemble de bien près à la mort. Verras-tu seulement la lumière de demain ? Puis, de sa destinée, passant en esprit à

celle de tous les êtres qui, des profondeurs de la création montent silencieusement au jour, je dis comme Goethe et le petit oiseau : « De la lumière ! Seigneur ! plus de lumière encore ! (Michelet. *LePeuple*).

Oui, de la lumière ! car ce mot résume toutes les aspirations de l'homme, fils de la lumière et créé pour elle. Notre siècle répète sans s'en apercevoir la parole de Goethe et de Michelet. L'étonnante floraison d'œuvres contemporaines traitant des radiations est une affirmation éloquente de la secrète et innée tendance de l'homme.

Sur les hauts plateaux de l'Asie les premiers habitants du monde étaient vraiment les enfants de la lumière ; ils saluaient avec joie le Soleil à son lever, ils le regardaient avec mélancolie s'enfoncer dans les nuées rouges de l'Occident. Il était la source de toute fertilité du sol, la seule richesse de ces peuples pasteurs.

Mais à mesure que les peuples s'éloignèrent du berceau de leur origine, le culte de la lumière ne se maintint pas aussi vif. On considérait moins le Ciel et plus la Terre. Le Soleil dont on acceptait l'influence et que l'on bénissait sans doute était trop loin, on préférait regarder ici-bas.

La civilisation contemporaine n'était point faite pour obliger l'homme à lever les yeux en-haut. L'âpre lutte pour la vie, les nécessités de l'industrie, le besoin de machines nouvelles ont lié plus que jamais l'homme à sa petite planète et l'ont détourné de la source de

vie. Nos ancêtres demandaient au soleil de les réchauffer, nos aïeux coupèrent les forêts pour embraser les vastes cheminées de leurs demeures, de nos jours c'est aux entrailles du globe que nous demandons le calorique dont nous avons besoin. A chaque étape nous nous sommes rapprochés du sol, que dis-je, nous l'avons trouvé trop élevé et nous en avons sondé les profondeurs.

Toute l'industrie dont nous sommes si fiers et à juste titre, toutes ces merveilleuses et puissantes machines qui ont transformé les conditions de l'existence, tirent-elles du soleil leur énergie ? Certainement, mais d'une façon très indirecte. Leur aliment, c'est la houille, du soleil sans doute, mais « en briquettes » comme l'a dit fort justement un spirituel physicien. Et pour donner la vie à tous ces engins producteurs de force, pour obtenir les métaux nécessaires à leur construction, jamais on n'a vu autant d'êtres humains privés de la lumière du Soleil.

Mais voilà qu'une transformations'avance. L'homme fils de la lumière, et souffrant d'en être privé, rêve d'horizons plus grands, de libertés nouvelles. C'est une ascension lente mais réelle vers le Soleil qu'il avait presque oublié. Déjà, grâce à l'Electricité, « la houille blanche » devient un réservoir inépuisable d'énergie. L'ouvrier relève la tête vers les Alpes grandioses, où tout est clair, lumineux, par les eaux et les neiges ; il les salue avec joie, car grâce à elles l'usine n'est plus l'ancre noir et enfumé d'autrefois. L'eau limpide et scintillante a transformé sa vie et aux brazier qui engloutissaient des tonnes de houille ont

fait place des fours où tout est lumière, où semble être descendu le Soleil.

Demain, ce sera le rêve ; demain l'homme désormais libéré des esclavages terrestres demandera à l'Astre qui féconde sa planète la source de toute énergie ; il sera vraiment redevenu fils de lumière.

On me pardonnera cette esquisse rapide des étapes de la civilisation, mais elle était nécessaire car le monde des idées a suivi une marche parallèle. Et pour ne m'occuper ici que de l'art de guérir, de la thérapeutique, il est facile de montrer ses tendances successives. A l'origine, peu ou pas de remèdes. La race humaine jeune et forte, pleine de sève, ne demandait qu'à vivre et sentait un sang brûlant d'énergie fluer dans ses membres. Une peau de bête autour des reins, le torse et les jambes nus, bronzés par le soleil, les premiers hommes combattaient par le grand air et la lumière leurs malaises passagers. A peine y joignaient-ils des simples, la fleur ou la feuille des plantes qu'ils avaient appris à connaître.

Plus tard, sous des climats divers se révélèrent des indispositions nouvelles. Le soleil se cachait trop souvent derrière les brumes pour rester le remède par excellence. On se rejeta sur les plantes, de petits soleils à vrai dire par leur corolle, recueillant en leur sein l'énergie créatrice pour la féconder, la diversifier de mille manières et la rendre à l'homme mieux adaptée à ses besoins. La médecine fut végétale.

C'était trop beau pour durer, trop simple pour des esprits qui devenaient de plus en plus complexes et l'on vit emprunter au règne animal les remèdes les

plus invraisemblables. La thérapeutique baissait d'un degré; elle s'éloignait de plus en plus des sources vitales.

Puis vinrent les remèdes minéraux dont les peuples anciens avaient eu une frayeur respectueuse et certainement salutaire. Ils sentaient, par une vague intuition, que là rien n'était élaboré, préparé pour le corps humain, que l'effet devait être brutal comme la matière elle-même et que la guérison, si elle se produisait, ne pouvait être obtenue que par une révolution profonde : or la nature répugne aux révolutions d'où l'organisme sort assurément moins fort. La médecine fut minérale.

Une époque succéda où pris d'une sorte de délire l'homme s'imagina que la source de ses maux était précisément dans la source de sa vie. Il renia son sang, véhicule animé de toutes les énergies lumineuses, calorifiques, électriques transformées, et pendant plus d'un siècle on saigna à blanc sous le prétexte de guérir. Mais, sentant fuir l'existence même on revint à des idées plus sensées. Après avoir préconisé un demi-suicide comme guérison on ne pouvait aller plus loin dans ce sens.

On le croyait du moins, et le siècle dernier se sentit revivre en entendant à son aurore l'ardente parole de Broussais qui, balayant toutes les doctrines médicales écloses avant lui, affirmait que la maladie proprement dite n'existe pas. Elle n'est point un être à part, elle n'est qu'un accident, dont la cause est une action intempestive des modifications intimes de notre économie. Et simplifiant la médication, il faisait de la

thérapeutique une simple branche de l'hygiène en donnant le moins possible de remèdes. Mais il s'obstinait à recommander la saignée. On eut peur de Broussais et on demanda à la science des élixirs contre la maladie et la souffrance.

Enthousiaste comme tous les jeunes, la science entendit l'appel et la période actuelle commença. L'industrie vivait de la houille, la chimie devint l'étude des mille transformations du carbone et la thérapeutique s'en ressentit. Jamais on ne vit tant de remèdes et jamais aussi tant de malades. Il n'est pas une substance chimique dont on n'ait fait un médicament. Toutes y ont passé jusqu'aux colorants, poisons toujours et d'autant plus dangereux que des combinaisons savantes leur permettaient d'imprégner plus profondément les tissus.

Mais le bon sens et la raison finissent toujours par avoir le dessus sur les exagérations. On est las de s'empoisonner et après avoir tout essayé, remèdes végétaux, animaux, minéraux, organiques, on se demande de quel côté viendra la guérison, le salut ; l'espérance renaît en entendant des maîtres éminents de jour en jour plus nombreux préconiser l'hygiène source de toute santé, et lui adjoindre les remèdes physiques comme un des plus puissants moyens de lutter contre la maladie. Les médicaments, en effet, combattent en général des symptômes ; ils ne modifient pas l'état constitutionnel du sujet, ne font pas disparaître la maladie ; leur impuissance a marqué la banqueroute de la thérapeutique.

Le 8 novembre 1902, le professeur Hayem, dans son

cours d'ouverture s'exprimait ainsi : «... Déjà, en 1879, lorsque je fus nommé professeur de thérapeutique à la Faculté de Médecine, l'édifice de la thérapeutique galénique, pharmacologique était, pour ainsi dire, vermoulu. Depuis les choses ont marché, et on peut dire qu'il s'est complètement effondré.

« Depuis fort longtemps, nous connaissons un certain nombre de spécifiques : le mercure, l'iode, la quinine, le fer. La chimie a fait des progrès assez grands pour qu'on ait pu introduire dans la thérapeutique un nombre considérable de corps nouveaux ; mais a-t-on découvert un nouveau spécifique ? Non, nous restons en présence des spécifiques anciennement connus...

« Pour les maladies chroniques, l'effondrement de l'ancienne thérapeutique, tout en ayant moins fait de bruit, n'est pas moins complet, et je puis dire que j'ai pris une assez grande part à cette destruction en montrant les dangers de l'usage et de l'abus des médicaments... Je n'ai pas besoin de répéter encore ici ce que j'ai souvent énoncé dans mes leçons antérieures ; qu'il me suffise de vous rappeler que *la proportion des cas d'empoisonnement chronique par les médicaments dans la clientèle des villes est*, toutes maladies chroniques prises en bloc, de 80 %, c'est énorme !

« Vous vous rappelez aussi que dans les névroses, on voit venir, avec une extrême fréquence, le morphinisme et le chloralisme, dans la tuberculose, la gastrite muqueuse qui, tout au moins, produit la perte de l'appétit et empêche la suralimentation ; puis, chez les dyspeptiques, dans 95 % des cas, on voit se produire

l'empoisonnement par les alcalins, l'irritation par les antiseptiques, les purgatifs répétés, les cachets, etc., qui aboutit à des processus que j'ai mis en évidence et que dénote la fréquence de gastronévroses, de types divers, notamment à forme neurasthénique....

« Pour les maladies chroniques, y compris même celles d'origine microbienne et pour lesquelles nous ne connaissons pas de sérums antitoxiques, c'est à l'organisme que nous devons nous adresser, car c'est lui qui lutte, qui se défend, qui seul peut en arrêter les progrès, en effacer les désordres. Alors, la thérapeutique a pour but de provoquer des réactions intracellulaires, tantôt d'ordre physique, plus généralement d'ordre purement nutritif, c'est-à-dire de *soutenir la nutrition des éléments anatomiques*.

« Les vrais moyens thérapeutiques sont donc les suivants (pour les maladies chroniques) : les *stimulants* dits *de l'hygiène*, repos et exercices, ingesta de matières alimentaires, boissons, et, se rapportant à ces ingesta, les matières salines, les eaux minérales, l'air et le climat, les *agents physiques et mécaniques*, agents thermiques, électricité, moyens mécaniques proprement dits, massage, mécano-thérapie....

« La *conclusion* de cette revue rapide est d'une grande simplicité et peut se résumer ainsi : la thérapeutique s'est transformée et elle tend à se transformer de jour en jour et à entrer dans une certaine voie qui est la *voie d'abandon des remèdes chimiques*. La pratique de la médecine ne se résout plus dans la prescription journalière, quotidienne, de poudres, de cachets, de potions quelconques, dont les formules varient selon

les caprices des praticiens. Cette sorte d'empoisonnement que vous avez vu souvent compliquer la situation des malades atteints chroniquement a fait son temps, et s'il n'est pas fait complètement, il est facile de prévoir que sa disparition se produira bientôt.

« Et il ne s'agit pas dans cette transformation, d'une question de mode, comme on a vu si souvent dans l'histoire des agents thérapeutiques : non, *c'est une conquête définitive* parce qu'elle est définitivement assise..... »

La thérapeutique après avoir été tour à tour tributaire de la botanique, de la zoologie, de la chimie minérale et organique se tourne donc maintenant vers la physique biologique et lui demande de nouveaux moyens de guérir.

Partant de ce principe que la vie est une vibration, un ébranlement moléculaire spécial, que la maladie est un trouble dans le jeu de ces forces, une déviation dans leur sens, la physique biologique a montré qu'il n'y avait qu'à faire agir sur l'organisme souffrant les agents physiques pour modifier les échanges biologiques, améliorer le terrain morbide et combattre les maladies chroniques.

Rien de plus naturel que la lumière, la chaleur et l'électricité, les trois grandes forces qui maintiennent la vie sur notre globe, puissent exalter l'activité de notre milieu physiologique, suractiver nos fonctions défaillantes.

Quel est le mécanisme biologique intime de ces modifications ? Nous l'ignorons encore, mais n'est-ce pas assez d'en constater les heureux effets ? Ce que

nous savons, c'est que notre organisme, notre moi est soumis à de perpétuelles oscillations vibratoires venant du monde extérieur, oscillations connues et inconnues dont l'action sur notre existence est indéniable. Nous ne résonnons pas tous à l'unisson de la même note, des mêmes ondulations, c'est ce qui constitue notre manière d'être spéciale, mais nous les subissons toutes et c'est ce qui fait notre similitude.

Du reste notre peau où Bouchard voyait une immense membrane nerveuse interposée entre le milieu ambiant et l'organisme, notre système nerveux central sont les délicats intermédiaires entre les agents physiques et nous. La sensibilité des radioconducteurs pour les ondes hertziennes peut donner à croire que les neurones se comportent de même vis-à-vis des ondulations de tous genres qui les pénètrent et comme le système nerveux est le régulateur par excellence de toutes les fonctions trophiques, on comprend que par son intermédiaire la lumière, la chaleur, l'électricité peuvent « accélérer, ralentir ou inhiber les actes de la vie cellulaire » (Charrin).

Et il faut souvent bien peu pour restaurer ou maintenir en bon état un ensemble de fonctions.

Le célèbre professeur d'Arsonval rappelait récemment (préface du traité de Photothérapie de MM. Chatin et Carle) que l'on prévoit le jour où l'on saura créer au sein des cellules de l'organisme, sous l'influence de modificateurs physiques, les substances immunisantes ou curatives qu'on emprunte aujourd'hui aux microbes. Il mentionnait les remarquables expériences où de l'eau ionisée par l'électricité en présence de métaux

tels que l'iridium, le platine, l'or, l'argent acquiert les véritables propriétés des ferments figurés.

« Ne savons-nous pas, ajoute-t-il, par les travaux de Curie, que les gaz ionisés jouissent de propriétés absolument nouvelles, notamment de cette propriété de décharger les corps électrisés, de devenir conducteurs de l'électricité.

« L'ionisation de la matière, tant vivante que brute, voilà un champ immense et fécond ouvert à la physique biologique et où la thérapeutique de l'avenir trouvera des ressources dont on peut affirmer sans crainte toute l'efficacité.

« Le courant électrique n'est pas le seul agent d'ionisation connu, une foule de radiations, émanant du tube de Crookes, produisent des effets analogues. Quoi d'étonnant alors que *la lumière*, ce type des agents impondérables, soit un si merveilleux modificateur de la vitalité des cellules. . . Mais pour agir efficacement, il faut que cette lumière ait des radiations de longueur d'onde spéciale. C'est là qu'intervient le physicien biologiste... »

Faut-il rappeler que tout récemment (4 avril 1904), le professeur Chantemesse a ouvert à Nice le premier Congrès français de climatothérapie et d'hygiène urbaine par un hymne au soleil seigneur des influences climatériques et à toutes les radiations connues : rayons de Röntgen, rayons de Becquerel, rayons du radium, rayons calorifiques et lumineux, rayons obscurs à l'action chimique intense, rayons N de Blondlot, fluorescence, phosphorescence ? Ne suffit-il pas de lire à la première page de la Genèse que Dieu

donna au monde la lumière « parce que la lumière était bonne » et de s'en rapporter à la remarque vieille comme le monde et commune à tous les peuples que l'influence bienfaisante entre toutes est celle du Soleil ?

Radiations lumineuses et calorifiques, électriques et hertziennes, radiations à peine soupçonnées et inconnues sont en effet toutes contenues en une vaste synthèse dans les rayons émanés de l'Astre sans lequel, comme le disait Hufeland, la vie organique serait impossible à la surface de la terre.

C'est l'étude de ces bienfaisantes radiations sur lesquelles va désormais solidement s'élever une partie de la thérapeutique de l'avenir qui fera le sujet de cet ouvrage. Mais au moment de l'écrire nous sommes saisis d'une émotion facile à comprendre. La tâche que nous nous sommes tracée est énorme et nous ne savons si nous aurons les qualités nécessaires pour la mener à bien. Et puis, le sujet qui était tout d'actualité il y a trois ans lorsque nous vint l'idée de le traiter, n'est plus neuf aujourd'hui. Les travaux ont surgi nombreux dans tous les pays et nous n'avons eu qu'à glaner pour recueillir les éléments qui devaient nous servir. Notre œuvre personnelle a consisté à bâtir un édifice avec tous ces matériaux épars, à présenter un traité d'ensemble sur la Lumière et ses effets. Nous avons apporté à l'étude physique des documents tirés de nos expériences. Quant à la bibliographie nous l'avons faite aussi complète et aussi méthodique que possible pour faciliter le travail de ceux qui reprendront demain la question.

Nous diviserons notre sujet en deux parties :

A). — La *première*, purement physique, se subdivisera à son tour en trois grands chapitres. Dans le premier nous étudierons les sources et la production des différentes radiations ; dans le second les appareils servant à l'application de chaque sorte de lumière ; — dans le troisième les moyens à employer pour mesurer et doser chacun de ces agents.

B). — La *seconde*, exclusivement physiologique, montrera l'action exercée par ces diverses radiations sur la matière vivante. Pour aller du simple au composé, nous passerons successivement en revue les microbes, les végétaux, les organismes animaux élémentaires, les animaux plus élevés en organisation et particulièrement les vertébrés, enfin l'homme. Nous indiquerons au passage la similitude d'action de radiations différentes, nous signalerons aussi le point faible de certaines expériences ou de certaines théories.

Nous pensions joindre à ces deux parties une troisième qui aurait été le tableau des diverses affections traitées et guéries par les différentes modalités de la lumière. Nous avons même réuni tous les documents nécessaires, mais c'est un livre énorme qu'il nous aurait fallu composer et le temps nous a manqué. Nous n'avons que différé ce qui dans notre esprit devait former un tout complet ; bientôt nous espérons terminer cette publication. Nous ne cachons pas qu'elle est bien imparfaite, car les faits que nous citons sont pour la plupart extrêmement récents et

beaucoup ont besoin d'être vérifiés à nouveau pour être admis sans conteste. Aussi nous réclamons l'indulgence de ceux qui nous liront et qui nous critiqueront peut-être. Ils voudront bien se souvenir que l'œuvre était grandiose et que nous ne l'avons qu'ébauchée, heureux cependant d'avoir tenu un instant le flambeau avant de le passer à d'autres, comme les coureurs antiques :

Quasi cursores vitæ lampada tradunt.

Mais arrivé au terme de nos études médicales il nous reste, avant d'entrer dans notre sujet, un double devoir à remplir, devoir de reconnaissance envers nos Parents et de gratitude envers nos Maîtres. Nous y associerons nos Amis qui ont rendu notre vie plus agréable par leur constante sympathie.

C'est à mon Père, à ma Mère que je suis heureux de dédier cette thèse, fruit de longues veilles et de patientes recherches. Ils m'ont toujours prodigué la plus tendre affection, ils m'ont donné l'exemple du travail persévérant joint à une énergique volonté. Je les en remercie ici sincèrement car l'homme ne vaut que par l'effort et la constante poursuite du bien et du beau. Puisse l'avenir me permettre de rendre leur vieillesse aussi douce qu'un fils aimant peut le souhaiter ! Ce sera un faible témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes Sœurs aussi, qu'il me soit permis de dire combien je suis fier de les avoir toujours trouvées prêtes à s'intéresser à mes travaux, à prendre leur part de mes joies comme à partager aussi les heures

parfois pénibles de l'existence. Je remercie tout particulièrement ma sœur Jeanne-Marie qui a bien voulu se charger, à Ambert, d'observations actinométriques pendant plusieurs mois et qui m'a ainsi aidé pour une bonne part dans mes recherches originales.

Je tiens aussi à remercier, non point pour me conformer à l'usage, mais pour acquitter une vraie dette de gratitude, tous mes maîtres de la Faculté et des Hôpitaux, qui ont été pour moi des guides pendant mes études et qui m'ont témoigné un bienveillant intérêt :

M. A. BONDET, professeur de Clinique médicale, dont la bonté toute paternelle à mon égard et dont les conseils élevés demeureront un des meilleurs et plus chers souvenirs de ma jeunesse. Je prie cet excellent maître qui a bien voulu me confier le Service électrothérapique annexé à sa Clinique, de croire à mon profond attachement.

M. F. MONOYER, professeur de Physique médicale, qui m'a fait l'honneur de présider cette thèse et qui m'a réservé dans son Laboratoire le meilleur accueil joint à une affectueuse sympathie.

M. H. BORDIER, professeur agrégé de Physique biologique, qui s'est montré pour moi plein de bienveillance. Il m'a inspiré le sujet de cette thèse et ne m'a ménagé ni ses conseils, ni ses encouragements. Il m'a donné l'exemple du travail et de la précision scientifique. Je le remercie sincèrement des témoignages de son amitié.

M. ROQUE, professeur agrégé à la Faculté de Méde-

cine, médecin des Hôpitaux, qui m'a toujours accueilli avec l'amabilité la plus cordiale.

M. P. COURMONT, professeur agrégé de la Faculté de Médecine, médecin des Hôpitaux, qui s'est toujours intéressé à mes recherches et à mes études. Je suis heureux de pouvoir ajouter à la reconnaissance que je lui dois comme maître, toute la sympathie qu'on a pour un Ami.

M. F. BARJON, médecin des Hôpitaux, à qui j'ai demandé maints renseignements sans laisser jamais sa patience et sa bonne grâce. Je conserve de ses entretiens le meilleur souvenir.

M. COLRAT, médecin des Hôpitaux, dont la mémoire est restée dans mon esprit et que la mort a enlevé trop tôt à mon affection. Externe suppléant dans son service, il m'a donné dans de nombreuses circonstances, de sages conseils dont je suis heureux de me souvenir.

M. TIXIER, professeur agrégé à la Faculté, chirurgien des Hôpitaux, aussi aimable que complaisant ;

M. PONCET, professeur de Clinique chirurgicale.

M. GAILLETON, professeur de Clinique des maladies cutanées et syphilitiques ;

M. GAYET, professeur de Clinique ophthalmologique ;

M. GANGOLPHE, professeur agrégé à la Faculté de Médecine, chirurgien des Hôpitaux.

Et je serais ingrat d'oublier mes maîtres de la

Faculté des Sciences, MM. BARBIER, GERARD, RAPH. DUBOIS, RIGOLLOT, GRIGNARD, RAY, COUVREUR, dont je suis fier d'avoir été l'élève ; je les remercie de leur enseignement, de leur sollicitude, de leur bonté.

Pour nos Amis, nous sommes heureux de leur renouveler ici l'expression de notre attachement. « Il n'y aurait pas d'amitié, a-t-on dit, si la mémoire ne ressuscitait dans l'âme et n'y tenait présents ceux à qui nous avons donné notre cœur ; » ces lignes leur prouveront qu'à eux surtout nous pensons toujours. Je ne les nommerai pas tous, mais ils se reconnaîtront dans ces lignes. Combien je suis reconnaissant aux uns de m'avoir fait une place à la table de famille, de m'avoir traité avec autant de bonté que si j'étais le grand fils de la maison, d'avoir jeté au milieu de mon existence laborieuse des instants de bonheur véritable ; aux autres, d'avoir songé qu'un étudiant a souvent des ressources plus que modestes et de m'avoir généreusement aidé en des moments difficiles ; à beaucoup enfin, de m'avoir encouragé, de m'avoir rendu la vie plus douce, grâce à leur affection, à leur amical dévouement ! Les remercier dignement est chose impossible, ma dette de reconnaissance croissant chaque jour.

Que le docteur BERCHOUX veuille bien se souvenir du temps heureux passé avec lui à la Charité et des longues heures d'entretien où nous avons discuté médecine, sciences, beaux-arts ; il sait combien nous sympathisons. Que nos Amis MM. BERNARD et BORLET qui, l'un à Pralognan, l'autre à Val d'Isère ont fait pour

nous de délicates observations, reçoivent l'expression de toute notre gratitude.

Un affectueux souvenir aussi à tous ceux dont la sympathie nous a rendu moins long le temps des études et plus agréable l'acquisition de nos connaissances scientifiques et médicales : MM. CHIFFLOT et BEAUVÉRIE, docteurs ès-sciences ; MM. les docteurs GENOUD, MOLIN, CADE, PIÉRY, BRISSON, BANCEL, ANDRÉ, REVOL et BERTHIER.

I

PARTIE PHYSIQUE

PREMIÈRE PARTIE :

Considérations générales sur la lumière.

Sources diverses de radiations lumineuses.

DEUXIÈME PARTIE :

Appareils servant à leur application.

TROISIÈME PARTIE :

Mesure et dosage des radiations.

PREMIÈRE PARTIE

Considérations générales sur la lumière. Sources diverses de radiations lumineuses.

CHAPITRE PREMIER

Le Soleil, source de toutes les énergies terrestres.

La lumière dans l'univers.

Sur notre globe, le Soleil est le grand dispensateur d'énergie. Nous ne vivons que par lui et sa disparition équivaldrait pour nous à un définitif arrêt de mort.

La chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, les affinités chimiques ne sont pas au fond des énergies diverses, on peut passer de l'une à l'autre et on peut les considérer comme des vibrations d'atomes matériels engendrées par les radiations solaires.

La lumière est donc le grand ressort de l'univers. Toutes les forces qui nous entourent ne sont que les transformations de l'énergie émanée du soleil. Les rayons solaires échauffent l'air et la surface du globe produisant les courants atmosphériques et le souffle des vents ; ils enlèvent aux océans d'énormes masses

de vapeurs qui se résolvent en pluie, en grêle, en neige et en glace sur les hauts sommets alimentant ainsi les torrents, les fleuves sources d'énergie hydraulique ou amoncelant d'inépuisables réserves de « houille blanche ». Les ruisseaux qui fertilisent nos campagnes reçoivent également du soleil leurs eaux fécondes sans cesse renouvelées.

C'est au soleil aussi que les plantes doivent leur existence et leurs merveilleuses propriétés synthétiques. Elles emmagasinent le carbone pendant le jour, débarrassant ainsi l'atmosphère des déchets de la respiration animale, elles exhalent de l'oxygène, le gaz nécessaire à la vie. Et de leurs réserves alimentaires fabriquées de toutes pièces à partir des éléments, elles nourrissent les animaux et l'homme. La houille, elle-même, n'est que de l'énergie solaire mise en réserve par l'intermédiaire des plantes.

Toutes les multiples conditions de la vie animale sont sous la dépendance du soleil. Si l'homme a soif, c'est le soleil qui le désaltère en lui fournissant l'eau de la fontaine, s'il a faim, c'est le soleil qui lui procure les fruits savoureux, s'il a froid, c'est le soleil qui le réchauffe ou lui fournit les moyens de se réchauffer ; c'est toujours lui qui le ranime et le stimule quand ses forces défaillantes tendent à l'abandonner.

D'où provient la force de nos muscles, dit le Dr Ang. Bellini, d'où procède l'énergie psychique de notre cerveau ? Du sang, répondrez-vous, qui apporte à tous les organes les aliments nécessaires à leur bon fonctionnement. Et d'où provient donc le sang ? De l'assimilation des aliments que la nature lui offre. Mais cette

énergie contenue en la nourriture provient-elle du règne végétal ou animal? Vous soupçonnez qu'elle a une origine plus haute : toujours la lumière, la lumière du soleil.

Le célèbre Tyndall disait : « toutes les forces de la terre, toutes les manifestations de la vie, sont des modulations ou des variations d'une même mélodie céleste qui émane du soleil » ; Dante le pensait aussi lorsqu'il saluait le Soleil :

Quegli ch'è padre d'ogni mortal vita.

(Par. c. XX, v. 116).

Mais élevons notre esprit au-dessus de la petite planète où la race humaine s'agit, là encore nous trouvons la lumière et la vie et d'autres soleils pareils à notre soleil. « Pour l'esprit qui saurait s'abstraire des conditions d'espace et de temps dans lesquelles nous vivons ici-bas, écrit C. Flammarion, le Ciel perdrait son silence, son calme, son apparente immobilité. Au lieu d'étoiles, nous verrions des soleils énormes, lourds, flamboyants, environnés de tempêtes, roulant sur eux-mêmes, lançant autour d'eux les éclats assourdissants du tonnerre, électrisant au loin les mondes qu'ils conduisent à travers l'immensité, courant, montant, tombant, fuyant, se précipitant dans tous les sens, pleuvant en tourbillons fantastiques et répandant jusqu'au fond des cieux l'activité, le travail et la vie. Plus de mort. Partout le mouvement et *partout la lumière*, partout la transformation, partout le déploiement de forces gigantesques, partout le développement d'une intarissable source d'énergie jusqu'à l'infini répandue. »

L'histoire de la lumière est, en effet, l'histoire non seulement du système où la Terre est étroitement enchaînée par des lois immuables, mais celle de ces mondes merveilleux où l'on a trois ou quatre soleils colorés, où les jours bleus, jours violets, jours roses ou lilas, jours rouges éblouissants, jours verts pâles semblent réaliser les prodigieuses conceptions d'un lumineux délire. C'est la symphonie des couleurs, un concert de lumières. Le caprice des peintres pourrait-il créer « sur la palette de la fantaisie, un monde de lumière plus hardi que ceux-là ? »

Quand nous aurons passé, que nos yeux ne percevront plus l'ardente lumière du Soleil, d'autres yeux continueront à contempler l'astre radieux. Les générations ont péri, les nations, les trônes ont disparu dans la poussière des siècles éphémères mais le Soleil est toujours là, source bienfaisante de radiations.

Cependant le poète l'a pressenti :

*Tout marche vers un terme et tout naît pour mourir...
Les cieux mêmes, les cieux, commencent à pâlir ;
Cet astre dont le temps a caché la naissance,
Le Soleil, comme nous, marche à sa décadence,
Et dans les cieux déserts les mortels éperdus
Le chercheront un jour et ne le verront plus !*

(LAMARTINE. — V^e Méditation).

Oui, dans quelques millions d'années, plus tôt peut-être, la Terre où nous sommes ne sera plus qu'un désert funèbre où tout aura disparu, jusqu'au souvenir des générations ensevelies, le Soleil lui-même, astre noir, roulera dans l'immensité nocturne son globe éteint et refroidi. Ce sera la mort pour notre système, mort par défaut de Lumière.

Mais, alors comme aujourd'hui. les nébuleuses auront enfanté de nouveaux soleils, alors comme aujourd'hui l'immensité sans borne sera peuplée d'astres sans nombre gravitant dans une merveilleuse harmonie, « des terres se balanceront dans la lumière de leurs soleils, des matins et des soirs se succéderont, des ciels bleus s'épanouiront et des nuages flotteront dans le charme des crépuscules... » (C. Flammarion).

La Lumière n'a pas plus de limites que n'en a l'espace ou l'éternité, les forces de la nature sont dans une activité perpétuelle, l'énergie de la création ne s'est point affaiblie. « Rien ne se perd, rien ne se crée » a dit Lavoisier ; tout se transforme, la science est là pour l'affirmer. Et pour celui qui voudrait parler encore de destruction et d'anéantissement je citerai la Lumière sans cesse renaissante dans l'éternelle genèse des soleils.

CHAPITRE II

La lumière. — Sa nature. — Ses propriétés

Qu'est-ce donc que la Lumière, cette énergie merveilleuse, la plus puissante de l'Univers ? C'est, si l'on veut, « la cause de la vision », mais cette définition nous dit bien peu de chose et ne satisfait pas l'esprit. Aussi, de bonne heure, on a cherché des hypothèses que l'on a considérées comme bonnes tant qu'elles n'étaient point contredites par les faits. On s'est contenté pendant longtemps de la théorie de l'émission qui, mal assise, a dû disparaître devant celle des ondulations. Il était réservé au XIX^e siècle d'y ajouter une merveilleuse découverte, de prouver que la lumière, la chaleur, l'électricité, ne sont point des phénomènes d'essence différente. Ils ont une nature, une origine communes, ils peuvent s'engendrer mutuellement ; ils dérivent tous d'une cause unique,

le travail mécanique, qui est susceptible de reparaitre si la force vient à être modifiée.

Tous les phénomènes qui relèvent de ces agents, de même que les phénomènes purement matériels obéissent aux mêmes lois de la mécanique rationnelle et en particulier au principe de la *conservation de l'énergie*, la base de la science moderne. Jamais de force vive ni de travail perdus, mais une transformation équivalente de l'un dans l'autre. Ainsi la lumière, la chaleur, l'électricité, les actions chimiques ayant même origine mécanique et s'équivalant entre eux « ne sont autre chose que trois formes de l'énergie ; leur nature intime est celle d'une force vive, ou ce qui revient au même, celle d'un mouvement » (1 p. 20) (1).

Mais pour nous arriver des astres ce mouvement, qui est vibratoire, a besoin d'un milieu de propagation. On en doit la première idée à Descartes. Huyghens à la fin de 1690 reprit pour lui l'existence de *l'éther cosmique*. C'est un milieu spécial, différant de la matière pondérable, extrêmement subtil et d'une élasticité quasi sans limite, qui existe aussi bien dans les espaces interplanétaires qu'entre les molécules des corps. Remarquons que l'existence de l'éther à travers lequel s'effectue la transmission de l'énergie radiante est une pure hypothèse. Mais cette hypothèse est très satisfaisante car on vérifie expérimentalement toutes les conclusions de la théorie de l'élasticité appliquée à l'éther. Elle ne gêne même en rien les calculs astronomiques. Sa subtilité est telle en effet que les astres

(1) Les chiffres en caractères gras renvoient aux indications bibliographiques.

animés de vertigineuses vitesses n'éprouvent de sa part aucun ralentissement sensible.

Ce milieu hypothétique se laisse traverser aussi bien par les ondes calorifiques, magnétiques, électriques, ou hertziennes que par les ondes lumineuses puisque la radiation solaire est un ensemble de toutes ces vibrations. A l'unité dans les mouvements vient donc s'ajouter l'unité dans le milieu de transmission.

Grâce à la science se simplifient ainsi peu à peu toutes les notions sur les forces physiques. *L'unité* y apparaît maintenant indiscutable et fait espérer que l'unité de la matière n'est peut-être pas une utopie. Mais avant d'exposer les théories récentes sur la lumière voyons les différents systèmes qui se sont partagés tour à tour la faveur des savants.

Historique. — Les systèmes des anciens philosophes n'ont pour nous qu'un intérêt historique. Nous rappellerons cependant qu'ils ont été les précurseurs de Newton ou plutôt, que cet illustre savant leur a emprunté l'idée première de sa théorie.

EMPÉDOCLE voyait dans les corps lumineux des sources d'une matière spéciale qui s'en écoulait continuellement. DÉMOCRITE, ÉPICURE, LUCRÈCE considéraient la lumière comme formée de « simulacres ou de membranes » qui se détachent de la surface des corps et qui ont leur apparence et leur forme. Ces images essentiellement subtiles sont formées de corpuscules analogues à ceux des plantes odoriférantes, dont il s'exhale des milliers de simulacres. Les rayons du soleil ne sont qu'un écoulement perpétuel de formes

subtiles, de fantômes déliés qui se répandent dans l'espace. Ils se succèdent continuellement comme une suite d'émanations parfumées :

*Persæpe leveis re, atque minutis
Corporibus stanteis, celereis licet esse videre,
In quo jam genere est solis lux, et vapor ejus ;
Propterea, quia sunt e primis facta minutis :
Quæ quasi cudentur, perque aeris intervallum
Non dubitant transire, sequenti concita plaga :
Suppeditatur enim confestim lumine lumen...*(1)

(Lucrèce. De nat. rer. lib. IV, v. 184-190).

ARISTOTE supposait, chose assez délicate à comprendre, que des corps transparents placés entre notre œil et les corps lumineux nous faisaient voir les objets placés derrière eux.

PLATON renversant les théories précédentes faisait de la lumière un phénomène purement subjectif. De l'œil partait une émanation qui allait palper les corps et qui nous en donnait connaissance.

Il faut arriver ensuite jusqu'au xvii^e siècle pour trouver d'autres esprits curieux de la nature de la lumière. GASSENDI, qui avait parcouru le cycle entier des sciences et des arts et qui fut une encyclopédie vivante, se rangea à l'opinion d'Epicure dont il était un fervent admirateur aussi bien en physique qu'en

(4) Traduction : On peut remarquer très souvent que les essences légères, et qui ont pour base de fins atomes, sont agiles. Dans ce genre est la lumière du soleil et sa chaude vapeur. Leur vitesse est due aux imperceptibles germes dont elles sont formées. Ils se chassent pour ainsi dire les uns les autres, ils n'hésitent point à franchir les vides de l'air : un choc les poursuit, les excite ; car une lumière succède aussitôt à la lumière qui vient de fuir. (D'après NISARD).

philosophie. La lumière serait une émanation en tous points comparable à un parfum.

DESCARTES, devançant EULER et HUYGHENS, eut un éclair de génie et devina l'éther en même temps que le mouvement vibratoire de la lumière. « Les objets visibles, dit-il, ainsi que les yeux, par lesquels ils doivent être aperçus, sont toujours plongés dans un fluide qui s'étend sans interruption des uns aux autres. Cette matière intermédiaire est susceptible d'une espèce de mouvement qui lui est propre, et qui ne peut être senti qu'au fond de l'œil de même qu'il ne peut être excité que par des corps flamboyants ou comme tels. Dès qu'elle est agitée de cette manière, l'organe placé en quelque endroit que ce soit de la sphère d'activité ne manque pas d'en être affecté, et à cette occasion l'âme aperçoit et juge à une certaine distance, et dans la direction du mouvement qui a fait impression, l'objet qui en est la cause. »

Mais les idées de Descartes, quoique antérieures de près de cinquante ans à celles de Newton tombèrent rapidement dans l'oubli ; c'est qu'elles reposaient sur de simples spéculations philosophiques où l'imagination jouait le rôle capital. Lorsqu'apparurent les arguments opposés par le génie inventif de Newton, on ne les considéra plus que comme des conceptions poétiques.

Système de l'émission. — Imaginé par NEWTON (1704), ce système défendu par son auteur avec un immense talent régna en maître sur la science pendant tout le XVIII^e siècle et s'imposa comme une vérité acquise.

Mais des expériences plus nombreuses ne devaient pas le laisser subsister. Cette théorie fut malheureuse pour la marche de la science qu'elle retarda ; « elle lui fit un tort qu'un homme de génie seul pouvait rendre aussi grand » (MOITESSIER, 85), mais elle suscita des discussions passionnées, sources de merveilleux travaux scientifiques.

Dans le système de l'émission, le mouvement lumineux appartient à une substance d'une ténuité extrême projetée dans toutes les directions et avec une prodigieuse vitesse par tous les corps lumineux. Ainsi les rayons provenant du soleil et qui viendraient frapper notre œil seraient formés de molécules sorties de la matière même de l'astre 8 minutes 13 secondes auparavant et qui auraient franchi dans ce court espace de temps les 40 millions de lieues qui nous séparent de lui. Il en serait de même pour la lumière de la lune qui met 62 secondes pour nous parvenir, pour celle de l'étoile polaire qui met 31 ans, pour celle des autres étoiles qui chemine des milliers d'années avant d'arriver jusqu'à nous. Le mouvement de translation de ces particules se fait en milieu homogène, dans une direction rectiligne ; leur vitesse de translation mesure la vitesse de la propagation de la lumière dans le milieu considéré.

Mais ces molécules, pour parcourir en tous sens un même espace en s'entrecroisant sans cesse sans se gêner mutuellement doivent être très écartées les unes des autres. Si on se rappelle que l'impression produite par la lumière persiste dans notre œil pendant $\frac{1}{10}$ de seconde, il suffit d'admettre la présence de

10 molécules lumineuses sur un espace de 300.000 kilomètres (vitesse moyenne de propagation de la lumière) pour expliquer la continuité de l'impression.

Pour Newton, la diversité des couleurs résulterait de la dimension des particules. La réflexion serait due au rebondissement des molécules élastiques sur un obstacle. La réfraction ne s'expliquait par contre qu'en admettant que les milieux transparents laisseraient entre leurs molécules des espaces vides suffisants pour permettre le passage libre des projectiles lumineux.

Mais la théorie de Newton avait besoin pour chaque fait nouveau d'hypothèses nouvelles. Plusieurs constatations expérimentales sont même, malgré cela, en contradiction avec elle. Nous en retiendrons deux seulement.

Quand un rayon lumineux passe d'un milieu dans un autre de densité différente (expérience du prisme) il est dévié de sa direction rectiligne primitive et *se réfracte*. Pour expliquer la déviation des rayons réfractés, Newton admettait que la matière pondérable dont est formé le milieu le plus dense exerçait une véritable attraction sur les particules lumineuses en mouvement. On en concluait que la lumière se propage plus rapidement dans un milieu plus dense, or les expériences de Foucault ont prouvé justement le contraire. Si l'on désigne par i l'angle d'incidence, r l'angle de réfraction, par V la vitesse de propagation de la lumière dans le premier milieu, par V' la vitesse dans le second et par n l'indice de réfraction du

deuxième milieu par rapport au premier on a, d'après la *théorie de l'émission* :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V'}{V} = \frac{1}{n}$$

Or la réalité des faits exige le résultat inverse qui porte le nom de *loi de la réfraction* :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V}{V'} = n$$

Quand un rayon s'ajoute à un autre rayon, il devrait y avoir toujours, d'après la théorie de Newton, accroissement de lumière puisqu'il y a augmentation du nombre de molécules lumineuses. Or l'expérience prouve que, dans des circonstances déterminées on peut arriver par addition de lumière à obtenir de l'obscurité. C'est le phénomène des *interférences*. La théorie des ondulations en rend parfaitement compte, au contraire, et permet de rapprocher ce phénomène des battements sonores où la rencontre d'ondes produit le silence.

Système des ondulations. — La théorie de Newton incapable de tout expliquer ne tarda pas à rencontrer de puissants détracteurs. EULER et HUYGHENS reprirent l'hypothèse de Descartes exprimée plus clairement encore par le PÈRE PARDIES (cf. PÈRE ANGO, **3**) et MALEBRANCHE. Les déductions de la théorie soumises au calcul firent découvrir de nouveaux phénomènes incompatibles avec le système de l'émission.

Enfin, le premier, l'anglais THOMAS YOUNG (1773-1829) eut la gloire de montrer combien le système des

ondes expliquait facilement la théorie des interférences. FRESNEL (1788-1828) et ARAGO (1786-1853) en France, se firent les champions de la théorie des ondulations aujourd'hui universellement adoptée (1). Ils continuèrent les expériences de Young et furent suivis dans cette voie par FIZEAU et FOUCAULT. Les beaux travaux mathématiques de CAUCHY et GREEN ont définitivement assis le nouveau système, une des plus glorieuses conquêtes de la science moderne.

Dans cette théorie mécanique, la lumière est le résultat de *vibrations* se communiquant de proche en proche tout comme les ondes sonores produites par la vibration d'un corps dans l'air. La différence entre le son et la lumière consiste seulement dans la rapidité de la vibration, extrêmement rapide pour la lumière, infiniment plus lente pour le son, et dans le milieu conducteur des ondes, l'air pour le son, l'éther cosmique pour la lumière.

Cet éther existe dans tout l'univers, même dans les endroits où se trouve le vide artificiel le plus parfait, il enveloppe tous les corps, il les pénètre et s'insinue dans leurs interstices. Il forme un milieu universel qui exerce une pression incessante sur les molécules de la matière ordinaire, et engendre par ses mouvements non seulement les phénomènes lumineux mais aussi toutes les actions physiques dont nous constatons les effets.

(1) Nous verrons en étudiant le radium et la radio-activité que l'énergie rayonnée par ce nouvel élément d'une façon spontanée et durable et sans emprunt apparent d'énergie étrangère n'infirme nullement la théorie des ondulations comme on s'est plu à le proclamer un peu à la légère.

La théorie des ondulations permet d'expliquer très facilement les phénomènes d'interférence et de diffraction, ce qui affirme son éclatante supériorité sur la théorie de Newton.

Interférences — Principe de Young. — Au moment où la théorie de l'émission régnait en maîtresse sur la science, un physicien de Bologne, le Père GRIMALDI, observa le phénomène suivant.

Ayant dirigé deux minces filets de lumière dans une chambre obscure, à travers deux ouvertures très petites et très rapprochées l'une de l'autre, il remarqua que les images du soleil n'étaient pas nettement limitées sur leurs contours, qu'elles formaient trois séries de cercles concentriques irisés coupés par trois systèmes de bandes rectilignes présentant également de vives couleurs et séparées les unes des autres comme les cercles par des zones obscures. Ces *franges* (comme on les appelle) disparaissaient dès qu'on supprimait une des deux ouvertures.

Le Père Grimaldi ne sut pas expliquer ce curieux phénomène et le monde savant accueillit avec un profond étonnement la proposition en apparence paradoxale qu'il formula : « De la lumière ajoutée à de la lumière produit en certains cas de l'obscurité. »

YOUNG, le premier, signala la cause de cette curieuse expérience : il montra que la théorie des ondes était seule capable d'en donner une explication plausible et il attribua l'apparition des franges obscures à la destruction du mouvement vibratoire lumineux par un

autre mouvement superposé au premier dans une phase convenable.

Pour le démontrer, considérons sur deux ondes sphériques peu distantes MM' et NN' deux points A et B situés sur le même rayon ; il peut se présenter deux cas :

1^{re} Cas. — La différence A B des deux rayons R et R' des deux ondes est égal à un nombre *pair* de *demi-longueurs d'onde* (1) : alors l'état vibratoire de ces deux points sera *le même* à chaque instant. En effet, si $R' - R = 2n \frac{\lambda}{2}$, le mouvement du point B situé sur l'onde NN' de rayon R à l'époque arbitraire t a pour origine l'ébranlement qui existait au centre de l'onde à l'époque $t_1 = t - \frac{R}{V}$, puisque cet ébranlement en se propageant d'un mouvement uniforme avec une vitesse V a mis pour arriver en B un temps $\frac{R}{V}$. De même, le mouvement du point A a pour origine l'ébranlement qui existait au centre à l'époque $t_2 = t - \frac{R'}{V}$, que l'on peut écrire $t_2 = t - \frac{R}{V} - 2n \frac{\lambda}{V}$, car $R' = R + 2n \frac{\lambda}{2}$. Mais $\frac{\lambda}{V}$ équivaut à la durée T d'une vibration complète car $\lambda = VT$, on peut donc écrire enfin

$$t_2 = t - \frac{R}{V} - 2n \frac{T}{2}$$

et en faisant la différence de t_2 et de t_1 on trouve

$$t_2 - t_1 = \left[t - \frac{R}{V} \right] - \left[t - \frac{R}{V} - 2n \frac{T}{2} \right] = 2n \frac{T}{2}$$

(1) On appelle *longueur d'onde* la distance à laquelle se propage le mouvement vibratoire pendant la durée d'une *vibration complète* (aller et retour). On la désigne par λ . Si on désigne par V la vitesse du mouvement uniforme de propagation, et T la durée d'une oscillation complète, on aura $\lambda = VT$.

Mais à des moments différant d'un nombre *pair* de demi-longueurs d'onde des ébranlements sont *identiques* et de *même sens*, il en est de même des ébranlements de A et de B.

2^e Cas. — Si $R' - R = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$ soit un nombre *impair* de demi-longueurs d'onde on verrait de même que

$$t_1 = t - \frac{R}{V}$$

$$t_2 = t - \frac{R}{V} - (2n + 1) \frac{T}{2}$$

et que

$$t_2 - t_1 = \left[t - \frac{R}{V} \right] - \left[t - \frac{R}{V} - (2n + 1) \frac{T}{2} \right] = (2n + 1) \frac{T}{2}$$

Donc les temps $t_2 - t_1$ diffèrent de $(2n + 1) \frac{T}{2}$ soit d'un nombre *impair* de demi-longueurs d'onde. A ce moment les ébranlements de A et de B sont *égaux* et *sens contraire*.

Supposons maintenant que dans le 1^{er} cas deux ondes parties *du même point* et ne différant entre elles que par $2n \frac{T}{2}$ (nombre *pair* de demi-longueurs d'ondes) *se rencontrent* en A ou en B. Les deux ondes étant de *même nature* (condensées ou dilatées) les vitesses *s'ajoutent* et les points A ou B sont éclairés par la somme de deux lumières.

Si, dans le 2^e cas, deux ondes parties *du même point* et ne différant entre elles que par $(2n + 1) \frac{T}{2}$ (nombre *impair* de demi-longueurs d'ondes) *se rencontrent* en A ou en B, les deux ondes étant de *nature opposée* (condensées ou dilatées) apportent aux points considérés des vitesses contraires qui *se retranchent* et les points sont dans l'ombre.

Tel est le principe des interférences découvert par YOUNG.

Diffraction. — **Principe de Huyghens.** — En se basant sur la théorie de l'émission ou quand on se sert de la notion de rayon lumineux, ce qui est la même chose, on construit très facilement l'*ombre géométrique* d'un objet éclairé par une *source lumineuse punctiforme*. Mais l'expérience prouve qu'il n'y a pas une limite nettement tranchée entre l'ombre et la lumière, il y a de la lumière dans l'ombre, de l'ombre dans la lumière avec des maxima ou des minima d'éclairement (franges de diffraction). Ce phénomène (qu'il ne faut pas confondre avec la pénombre et qui en est tout différent) est une conséquence immédiate de la théorie ondulatoire de la lumière ; il est dû à la diffraction.

L'explication de la diffraction est une application du principe des interférences dont nous venons de parler et d'un principe nouveau dû à HUYGHENS qui s'en est souvent servi sans l'énoncer cependant d'une façon bien nette. « Lorsque, dit-il, (59) un point A rayonne de la lumière, chaque particule de la matière dans laquelle une onde s'étend donne son mouvement à toutes les autres qui la touchent, de sorte qu'il faut qu'autour de chaque particule se fasse une onde dont cette particule soit le centre. Aussi si DCF est une onde lumineuse émanée du point lumineux A, qui est son centre, la particule B, une de celles qui sont comprises dans la sphère DCF aura fait son onde partielle qui touchera à l'onde DCF en C par exemple au même moment que l'onde principale, émanée du

point A et parvenue en D'CF ; il en sera de même pour les autres particules comprises dans sa sphère... » Chaque point d'une onde lumineuse est donc par lui-même un nouveau centre d'ébranlement ondulatoire mais loin de rayonner également dans tous les sens comme un véritable point lumineux (47, n° 4), il doit être assimilé à un point qui envoie dans chaque direction des vibrations d'intensité variable. Cette intensité atteint son maximum dans la direction normale à l'onde, diminue avec l'obliquité et devient nulle dans la direction tangentielle et dans toute direction rétrograde.

Il en résulte que la lumière ne se propage pas rigoureusement en ligne droite ce qui explique la diffraction.

On pourrait prouver que la théorie des ondes permet d'expliquer d'une façon simple et satisfaisante tous les phénomènes de l'optique géométrique, aussi bien que la double réfraction uniaxiale et biaxiale, la polarisation chromatique, circulaire, elliptique, rotatoire.

La lumière blanche n'est pas simple. — Son analyse. — Le spectre solaire. — Tableau des longueurs d'ondes. — Nous ne nous sommes occupés jusqu'à présent que de la lumière blanche comme si elle était simple, mais nous avons pu remarquer déjà en réalisant les franges d'interférence que ces franges étaient colorées.

L'explication de ce phénomène découle de l'expérience de NEWTON qui, le premier, en analysant la lumière blanche, montra qu'elle était décomposable en sept couleurs fondamentales. Il cherchait à perfec-

tionner les objectifs employés à la construction des lunettes lorsqu'il s'aperçut « que ce qui avait empêché qu'on ne perfectionnât les télescopes n'était pas, comme on l'avait cru, le défaut de la figure des verres, mais plutôt le mélange hétérogène des rayons différemment réfrangibles. »

Il fit alors pénétrer dans une chambre obscure un rayon de soleil qu'il reçut sur un prisme de verre bien transparent et bien homogène. Il constata alors que le faisceau lumineux émergent était dévié vers la base du prisme, qu'il était étalé, que sa partie supérieure était rouge de feu tandis que le bord inférieur était d'un violet pur. Entre ces deux couleurs extrêmes se montrait une infinité de nuances se succédant sans solution de continuité appréciable, unissant avec une harmonie remarquable celles qui suivent à celles qui précèdent. Malgré le passage insensible d'une teinte à l'autre on pouvait distinguer quelques couleurs principales qui se suivaient toujours dans le même ordre, le violet étant toujours le plus rapproché de la base du prisme. Elles étaient au nombre de sept : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge, constituant le *spectre solaire*.

En variant l'expérience, on s'aperçut bien vite que le spectre conserve les mêmes allures quelle que soit la grandeur de l'angle du prisme, quelle que soit la substance transparente dont il est formé. La seule modification consistait dans la longueur de l'image colorée et dans la déviation qu'elle subissait; cette déviation dépend, en effet, de l'indice de réfraction. D'autre part, en faisant tomber sur un deuxième prisme

chacune des sept couleurs du spectre on la voyait déviée, mais elle gardait la même teinte. Les couleurs obtenues étaient donc simples ou *monochromatiques*.

Newton ne montra pas seulement le phénomène, il en découvrit immédiatement la cause; il l'attribua à

MILIEU DES PLACES COLORÉES ET RAIES DE FRAUNHOFER	LONGUEURS d'onde exprimées en μ (microns ou milliوني- mètres)	NOMBRE de vibrations par seconde (en trillions) $n = \frac{V}{\lambda}$
A.....	0.761	394
<i>a</i>	0.718	418
Milieu du rouge.....	0.700	428
C.....	0.656	457
Milieu du rouge orangé.....	0.620	484
Milieu de l'orangé.....	0.597	503
D.....	0.589	509
Milieu du jaune orangé.....	0.588	510
Milieu du jaune.....	0.580	516
Milieu du vert franc.....	0.527	568
E.....	0.527	568
<i>b</i>	0.517	580
Milieu du vert bleu.....	0.508	591
Milieu du bleu cyané.....	0.496	605
F.....	0.486	617
Milieu du bleu.....	0.473	635
Milieu du bleu violet.....	0.438	685
G.....	0.430	698
<i>h</i>	0.410	732
Milieu du violet pur.....	0.405	742
H.....	0.397	756

un défaut d'homogénéité de la lumière blanche. Elle résulte de la synthèse d'un nombre infini de rayons possédant chacun une couleur propre et une réfrangibilité différente. Chaque couleur a donc un indice de

réfraction particulier qui augmente du rouge au violet ; elle a aussi une longueur d'onde caractéristique d'autant plus petite que la couleur considérée est plus réfrangible.

Ces longueurs d'ondes sont mesurées avec une extrême précision au moyen de méthodes reposant sur la diffraction et les interférences. Nous en citons plus haut quelques-unes relatives aux sept couleurs fondamentales du spectre (cf. tableau, p. 45).

Etendue du spectre au delà des rayons visibles. — Quand on emploie l'œil comme seul instrument capable de nous renseigner sur l'énergie ondulatoire qui nous est envoyée par le Soleil on a les sensations colorées dont nous venons de parler et qui correspondent à des longueurs d'ondes variant entre $0\mu, 4$ et $0\mu, 8$. On se tromperait gravement si on bornait là le spectre. L'œil est impuissant à nous renseigner mais d'autres instruments vont le suppléer.

Le thermomètre d'abord, employé par Herschell en 1800, montra une augmentation de la température dans une région située en deçà du rouge et qui était pour l'œil absolument invisible. Il existait donc là des rayons doués de propriétés calorifiques. En se servant d'instruments plus sensibles tel que le bolomètre de Langley (66) capable de déceler une variation de $1/10.000^e$ de degré de température, on a pu reculer encore dans l'étude de cette partie du spectre obscur.

Aujourd'hui, on ne sépare plus comme autrefois la chaleur et la lumière. On n'en fait plus deux choses distinctes et l'on doit à AMPÈRE (1835) cette idée que la

chaleur rayonnante et la lumière sont dues au même agent. En deçà du rouge existent des ondes comme au-delà, ondes plus longues et plus lentes, mais en tout comparables aux ondes lumineuses.

La plus ancienne mesure de longueur d'onde dans le *spectre infra rouge* a été réalisée en 1847, par M. FIZEAU. Avec FOUCAULT il trouva une longueur d'onde de 1.447 millionimètre. Mais les résultats les plus complets que l'on possède sont dus à M. H. BECQUEREL (C. R. t. 99, p. 417) et à M. LANGLEY (67). En 1879, MOUTON arriva à mesurer une longueur d'onde de 2.447 millionimètres, en 1880, DESAINS et CURIE arrivèrent à 7 μ . En 1886 et 1888, Langley recula les limites de l'infra-rouge jusqu'à 30 μ . Enfin, ces dernières années RUBENS et NICHOLS, puis RUBENS et ASCHKINASS sont arrivés à découvrir des radiations de 40 puis de 60 μ produites par le bec Auer.

Ces radiations ont une importance de premier ordre car elles ont sur certains appareils une action analogue à celle des ondulations électriques. Elles établissent un lien étroit entre la lumière et l'électricité et permettent de passer de l'une à l'autre.

Aux radiations calorifiques, la thérapeutique lumineuse a peu emprunté, ainsi que nous le verrons dans la deuxième partie de cet ouvrage. Elles n'ont du reste aucune action spéciale différente de celle que peut présenter une source calorifique quelconque.

Si nous revenons maintenant à l'autre extrémité du spectre, nous ne tardons pas à nous apercevoir que l'œil est incapable de nous renseigner sur sa limite vraie. Un écran recouvert de sulfate de quinine, de

RAIES DE FRAUNHOFER et raies des spectres métalliques	Longueurs d'onde exprimées en μ (microns ou millionièmes)	Nom de l'auteur qui a fait la détermination
H	0.39672	Mascart
L	0.38490	»
M	0.37288	»
Raie 9 du cadmium	0.36090	»
N	0.35802	»
Raie 10 du cadmium	0.34668	»
O {	0.34401	»
.....	0.34397	Cornu
Raie 11 du cadmium	0.34015	Mascart
P {	0.33602	»
.....	0.33593	Cornu
.....	0.32856	Mascart
Q {	0.32899	Cornu
.....	0.3258	Mascart
Raie 12 du cadmium (triple) } la plus forte.	0.3248	»
	0.3247	»
R {	0.31790	Cornu
.....	0.31775	Mascart
r	0.31442	Cornu
S ₂	0.30995	»
T	0.30197	»
U	0.29480	»
Raie 17 du cadmium	0.27477	Mascart
» 18 »	0.25723	»
» 22 »	0.23218	»
» 24 »	0.22655	»
» 25 »	0.21945	»
» 26 »	0.21441	Soret
» 26 du zinc	0.21385	»
» 27 » double, la plus forte	0.20988	»
» 28 { 28 ₁ faible	0.20634	»
	0.20610	»
» 29	0.20243	»
» 30 de l'aluminium	0.19881	»
» 31 { 31 ₁	0.19335	»
	0.19287	»
» 32 { 32 ₁	0.18602	»
	0.18522	»

sulfure de calcium ou de platino-cyanure de baryum s'illumine déjà dans une partie placée bien au-delà de l'extrême violet visible. Un verre d'urane se comporte de même et M. SORET a utilisé cette propriété pour l'étude de cette région du spectre (104). Mais la plaque photographique est de beaucoup le réactif le plus sensible aux radiations de faible longueur d'onde. Elles ont en effet des propriétés *chimiques ou actiniques* très intenses. Et, pour citer quelques exemples, elles déterminent la combinaison du chlore avec l'hydrogène, elles décomposent les sels d'argent, d'or, de platine. Elles blanchissent les tissus d'origine végétale et modifient de nombreuses couleurs.

Les limites du spectre *ultra-violet* sont comprises entre $0\ \mu$, 392 et $0\ \mu$, 295, mais par l'étude du spectre des métaux M. SORET a pu l'élever jusqu'à $0\ \mu$, 185 qui correspond à la raie la plus réfrangible de l'aluminium.

Nous donnons ici (pag. 48) en raison de son importance le tableau des principales longueurs d'ondes mesurées dans le spectre ultra-violet par MM. Cornu, Soret et Mascart. Il fait suite à celui que nous avons indiqué plus haut pour le spectre visible.

On voit que l'observation des spectres métalliques double à peu près l'étendue du spectre ultra-violet.

Ces radiations chimiques sont de beaucoup les plus importantes au point de vue médical. Nous verrons qu'il a été démontré qu'elles *seules* agissent dans les applications de la lumière à la thérapeutique.

Ce qu'il y a au delà de l'infra-rouge et de l'ultra-violet. —
Gamme des radiations. — La chaleur, la lumière, l'action

chimique qui constituent l'ensemble des radiations spectrales ne forment qu'une partie des radiations actuellement connues. Les découvertes de ces dernières années ont enrichi la liste de modalités de l'énergie, je veux parler des rayons de Röntgen ou rayons X, des rayons de Becquerel, des rayons de Blondlot ou rayons N.

Les rayons de Röntgen agissent sur la plaque photographique, ils excitent la fluorescence tout comme l'ultra-violet. Ils sont rayonnés par tout obstacle frappé par les rayons cathodiques. Ils se propagent d'une façon rectiligne sans subir de phénomènes de réflexion, de réfraction ou de diffraction. Ils sont constitués par des vibrations très rapides. Le professeur GOUY, de Lyon, a montré en effet que les oscillations qui les produisent doivent être au moins cent fois plus rapides que l'extrême-violet. Comme leur vitesse, mesurée par BLONDLOT, égale celle de la lumière et des ondes hertziennes, « il faut les rattacher à des causes analogues, et en tous cas, admettre qu'ils se propagent dans le même milieu cosmique. » (POINCARÉ 92).

Le radium, le type des corps radio-actifs, émet des rayons de BECQUEREL, qui sont de trois sortes α , β et γ . Nous nous en occuperons plus loin. Mais nous pouvons dire déjà que les rayons α et β impressionnent la plaque photographique, que les rayons β sont déviés par un champ magnétique comme les rayons cathodiques, que les rayons γ sont insensibles au champ magnétique et ressemblent beaucoup aux rayons de Röntgen, que les rayons α se rapprochent des rayons-canaux des tubes de Crookes. Il y a plus. Les rayons produits par

le radium sont en partie visibles par l'œil : « tous les composés de baryum radifère sont spontanément lumineux » (CURIE et GIESEL). Ces rayons sont arrêtés par les corps opaques. Un autre rayonnement peut traverser les objets, les os par exemple et permettre la vision chez certains aveugles (LONDON). Enfin les rayons invisibles ne sont révélés que par la plaque photographique.

Les radiations qui émanent d'un tube de Crookes semblaient n'être formées que de rayons de Röntgen lorsque M. BLONDLOT en découvrit *qui possédaient des propriétés nouvelles*. Les rayons X ne se réfractent pas, ne sont pas déviés par le prisme, tandis que les nouveaux rayons sont susceptibles d'être concentrés au foyer d'une lentille d'aluminium. Ils traversent des planches de bois de plusieurs centimètres d'épaisseur, des plaques d'aluminium de trois centimètres, mais sont arrêtés par l'eau pure, le plomb, le platine. Ils n'ont aucune action calorifique ou chimique et par conséquent n'impressionnent point la plaque photographique, ils sont invisibles pour l'œil. On peut les mettre en évidence [par l'augmentation d'éclat qu'ils communiquent à une source lumineuse faible, par l'augmentation de la fluorescence du platino-cyanure de baryum rendu légèrement lumineux par un sel de radium ou plus pratiquement par la luminescence plus grande d'un petit écran phosphorescent enduit de sulfure de calcium. Les plus récentes mesures de Blondlot assignent à ces rayons une place dans l'ultra-violet.

Enfin CHARPENTIER a publié récemment le résultat de ses recherches d'où il résulte, découverte sensa-

lionnelle, et qui mérite d'être confirmée par des expériences très minutieuses, que le corps humain est une source de radiations N et N_1 .

De l'autre côté du spectre, au-delà des rayons infra-rouges viennent prendre place les oscillations hertziennes et électriques, de sorte que si nous voulons établir le tableau, la gamme des radiations, nous arrivons au résultat suivant qui résume l'état actuel de la science :

La vitesse des oscillations croît de 1 jusqu'à 9 et au delà.

- 1° Oscillations électriques.
- 2° Oscillations hertziennes.
- 3° Rayons de Rubens.
- 4° Rayons infra-rouges (décelables par le bolomètre et le thermomètre).
- 5° Rayons lumineux (visibles pour l'œil).
- 6° Rayons ultra-violet (révélés par les phénomènes de fluorescence et la plaque photographique).
- 7° Rayons de Blondlot (rayons N).
- 8° Rayons de Röntgen (rayons X) et rayons Y du radium.
- 9° Rayons de Becquerel (dont la place exacte est encore à déterminer).

Les raies du spectre visible et invisible. — Ainsi donc, enchaînement parfait et relations indiscutables de l'électricité, de la chaleur, de la lumière, des radiations chimiques, des radiations nouvelles tel est d'après les physiciens le résultat des découvertes les plus récentes. On peut le résumer dans ce principe qui dirige la création entière : *l'unité dans la pluralité*.

Mais plusieurs notes de la gamme que nous avons établie manquent encore ; il existe des vides, des lacunes considérables où doivent se placer des radiations encore insoupçonnées et dont la découverte se fera un jour ou l'autre. Que nous réservent ces vibrations nouvelles ? Il serait téméraire de le conjecturer.

Ce n'est pas de ces bandes noires encore, parce qu'inconnues, que nous voulons parler dans ce paragraphe mais d'un autre phénomène que l'on constate dans le spectre solaire. Lorsqu'il est très pur, on le voit coupé de nombreuses *lignes obscures* parallèles à l'arête du prisme. L'apparition de ces raies montre qu'il n'y a pas, dans la lumière du soleil, continuité parfaite entre les réfrangibilités des radiations qui la constituent.

La production de ces raies fut signalée par WOLLASTON en 1802. Treize ans après, un physicien de Munich, FRAUENHOFER en fit une étude attentive et en compta près de six cents ; c'est pourquoi on les désigne le plus souvent sous le nom de *raies noires de Fraunhofer*. L'emploi des réseaux qui donne des raies de Fraunhofer à des *distances rationnelles* c'est-à-dire en rapport constant avec le nombre des vibrations, des longueurs d'ondes et des indices de réfraction, a permis à ANGSTRÖM (4) de déterminer depuis la position précise de plus de 1.000 raies du spectre solaire entre la raie A et la raie H.

Pour s'y reconnaître en effet dans un nombre aussi considérable de raies noires, les premiers observateurs eurent l'idée de donner aux plus visibles le nom des lettres majuscules de l'alphabet ; on eut ainsi les raies

A, B, C, D, E, F, G, H, relatives au spectre visible. Mais le nombre des raies augmentant on employa successivement les lettres minuscules *a, b, c, d*, etc., puis l'alphabet grec, $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots \omega$ enfin des chiffres.

Assez longtemps inexpliquées, les raies de Fraunhofer ont une origine bien simple que découvrit KIRCHOFF d'après la célèbre expérience de Foucault sur le renversement de la raie D. Il formula cette loi qu'*un gaz ou une vapeur absorbent les rayons qu'ils sont eux-mêmes capables d'émettre lorsqu'ils sont incandescents*. Un corps liquide ou solide incandescent donnant un spectre *continu*, il est très facile dès lors d'expliquer les raies noires du spectre solaire. Le soleil est une masse incandescente solide ou liquide, entourée d'une énorme atmosphère gazeuse. La masse centrale donne un spectre continu, mais l'atmosphère (la photosphère) fournit une série de bandes noires d'absorption dues aux corps simples vaporisés.

Nous n'insisterons pas sur cette découverte qui est devenue un des plus précieux et des plus subtils moyens d'analyse, non seulement des corps de notre globe, mais même des soleils les plus éloignés de l'espace. Nous ferons remarquer cependant que les raies noires existent non seulement dans la partie visible du spectre mais dans la partie invisible qui le prolonge de chaque côté.

W. HERSCHEL fut le premier qui constata la présence de maxima et de minima dans le spectre calorifique (52 et 53), FIZEAU et FOUCAULT (45) trouvèrent dans cette partie une bande aussi éloignée de A sur la gauche que D l'est sur la droite. LAMANSKI (65),

DESAINS (37), LANGLEY (67) ont confirmé et étendu ces recherches. Enfin, E. BECQUEREL, se servant d'une méthode basée sur la phosphorescence a pu rendre *visibles* les bandes sans chaleur du spectre infra-rouge (14 et 15).

De même, dans le spectre ultra-violet, E. BECQUEREL (10) signala dès 1842 un nombre immense de raies noires se dessinant à la suite de H. Ajoutons que M. MÜLLER a photographié près de 70 de ces raies et M. MASCART plus de 700 (80 et 81).

Il y a donc à ce point de vue, similitude parfaite entre les trois régions calorifique, lumineuse et chimique du spectre solaire.

Rapports des diverses régions du spectre entre elles. —
Cette similitude s'accroît encore si l'on remarque que les trois sortes de radiations obéissent à la loi de Descartes sur la lumière et que les trois propriétés lumineuses, calorifiques et chimiques d'une radiation déterminée sont affaiblies d'une façon égale lorsqu'elles traversent un même milieu. Il en résulte que dans le spectre les trois propriétés qui nous occupent sont absolument inséparables.

Dans la partie moyenne du spectre, considérons une radiation, verte, par exemple. Faisons-la réfracter sur un deuxième prisme. Le rayon ainsi obtenu impressionne la pile de Melloni ou le bolomètre, l'œil et la plaque photographique. Nous ne pouvons débarrasser la radiation d'une de ses trois propriétés sans supprimer les autres avec elle. On a

étendu cette loi aux radiations situées de chaque côté du spectre visible.

Ainsi donc, *chaque raie du spectre*, possédant un *indice unique* présente *trois propriétés inséparables* par la réfraction. Mais c'est tantôt à l'une tantôt à l'autre qu'est dévolu le rôle prépondérant. Il résulte en effet des recherches de MOUTON et surtout de celles de LANGLEY faites avec un réseau Rowland que le spectre infra-rouge contient plus de la moitié de l'énergie *calorifique* totale du spectre, tandis qu'à ce point de vue l'énergie des radiations ultra-violettes est extrêmement faible. Le maximum calorifique correspond à la longueur d'onde de $0\mu,580$ mais il faudrait d'après LANGLEY le reporter à la longueur d'onde $0\mu,500$ à la limite de notre atmosphère, c'est-à-dire dans le vert.

Le maximum d'intensité *lumineuse* est voisin de la longueur d'onde $0\mu,530$, quant au maximum d'intensité *chimique* il est très près de la raie H c'est-à-dire de la longueur d'onde $0\mu,400$.

On peut, par une expérience élégante, montrer l'intime relation des diverses régions du spectre. Lançons dans une lampe à incandescence le courant électrique réglé par un rhéostat. Pour un courant faible, le filament est à peine rouge, on a la partie *calorifique* du spectre. Augmentons l'intensité, le carbone rougit de plus en plus : il est très *lumineux*. Poussons la lampe au blanc éblouissant, elle donne non seulement des rayons calorifiques et lumineux mais des rayons *chimiques*. Ainsi à mesure que le passage du courant a fait vibrer de plus en plus le filament de la lampe

nous avons vu s'étendre graduellement le spectre. Il n'y a donc entre une extrémité et l'autre qu'une différence dans le nombre de vibrations. Si notre œil n'est pas sensible pour toute cette gamme il n'y a là rien d'étonnant puisque notre oreille ne perçoit de même que les sons compris entre 16 et 36.850 vibrations à la seconde (DESPRETZ).

La conclusion de tous ces faits s'impose : le Soleil ne nous envoie pas trois agents distincts (comme on le croyait autrefois) donnant chacun un spectre partiellement superposé aux autres. Il envoie des vibrations *toutes de même nature*, « qui ne se distinguent que par leur longueur d'onde et qui se séparent en traversant un prisme parce que leur réfrangibilité est différente, de telle sorte qu'en un lieu donné du spectre il n'y en a qu'une seule et qu'elle est réellement *simple* » (60, p. 101, II).

Rapports des ondulations du spectre avec les ondulations voisines. — Théorie de Maxwell-Hertz. — Nous venons de voir quel lien étroit relie les différentes parties du spectre, nous aurions pu ajouter, pour compléter l'analogie, qu'on a pu répéter avec les rayons calorifiques toutes les expériences de l'optique physique (rayonnement, réflexion, réfraction, interférences, diffraction, polarisation, etc.). La chaleur, l'électricité, la lumière peuvent se transformer de façon à permettre de passer de l'une à l'autre.

Il était réservé au XIX^e siècle de pousser plus loin ces ressemblances et de prouver que la cause de ces

phénomènes est la même, que leur milieu d'action est identique.

FARADAY, en 1845, fit entrevoir pour la première fois un lien probable entre la lumière et l'électricité. Il constata qu'un rayon de lumière polarisé soumis à l'action d'un champ magnétique puissant tournait comme s'il avait rencontré sur sa route une lame de quartz. C'était le premier exemple de *polarisation rotatoire de la lumière en milieu magnétique*.

KERR constata plus tard qu'un diélectrique optiquement isotrope (1) devient anisotrope et par suite biréfringent lorsqu'on le place entre les armatures d'un condensateur.

MAXWELL et HERTZ devaient quelques années plus tard démontrer que la cause de ces phénomènes était l'identité de la lumière et de l'électricité.

Une série de mesures devait du reste mettre MAXWELL sur la voie. Il est possible d'évaluer les unités électriques et magnétiques dans plusieurs systèmes dont deux sont spécialement intéressants. On peut choisir à volonté l'unité de quantité d'électricité; dès lors l'unité magnétique n'est pas arbitraire; elle est définie par les relations de l'Electromagnétisme. On a ainsi un système d'unités dit *électrostatique*.

(1) On désigne sous le nom d'*isotropes* tous les milieux homogènes pour lesquels les propriétés physiques sont identiques dans toutes les directions menées autour d'un point. Un milieu de cette nature est caractérisé par une égale élasticité de l'éther dans toutes ses parties. Ainsi tous les corps homogènes non cristallisés ou cristallisés dans le système cubique sont isotropes. Ils jouissent de la *réfraction simple* s'ils sont transparents.

Tout corps non isotrope est dit *anisotrope*.

On peut aussi prendre comme base arbitraire l'unité de magnétisme et y rapporter l'unité d'électricité. C'est alors le *système électromagnétique*.

Or, chose inattendue autant que merveilleuse, en mesurant les vitesses u et u' de l'électricité dans l'un et l'autre système on s'aperçut que le rapport $\frac{u}{u'} = v$ était justement égal à 300.000 kilomètres, la vitesse de la lumière, MAXWELL en conclut que la *vitesse de l'onde électromagnétique était égale à celle de la lumière* (36).

C'était dire du même coup que le milieu universel, l'éther, devenait le substratum de l'électricité et du magnétisme comme il l'était de la lumière et de la chaleur.

MAXWELL, dans un éclair de génie, devina que l'identité du milieu de transmission et l'identité des vitesses avait une signification plus haute et il établit cette proposition que *la lumière n'est pas autre chose qu'un phénomène électromagnétique*. C'était là la synthèse admirable de toutes les forces physiques, synthèse purement théorique par malheur, qui allait attendre vingt-cinq ans encore une confirmation expérimentale.

C'est grâce à la géniale découverte de HERTZ, les *oscillations hertziennes*, qu'il a été possible d'identifier la lumière et l'électricité.

Ces oscillations se produisent dans des conditions depuis longtemps déterminées par SIR WILLIAM THOMSON. Considérons un condensateur de capacité C possédant sur ses deux faces des charges électriques égales et de signe contraire. Si l'on vient à réunir les

deux armatures par un fil de résistance R et de self-induction L , le condensateur va se décharger. Si on a entre les quantités C , R et L le rapport

$$R > \sqrt{\frac{4L}{C}}$$

la décharge est *continue*. Elle est *oscillatoire* au contraire dans le cas de

$$R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$$

et si la résistance du conducteur parcouru par la décharge est négligeable, la durée de la *période oscillatoire* est

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

Ces oscillations sont produites par les charges électriques qui se précipitant l'une à la rencontre de l'autre dans le fil pour se recombinaient dépassent leur position d'équilibre. La résistance du fil doit être en effet très faible et ne pas s'opposer à leur déplacement. Après être remontées jusqu'à l'armature opposée, les charges redescendent de nouveau pour se rencontrer, et le même phénomène se reproduit quoique moins intense. De sorte que toute l'énergie potentielle de la charge primitive se dépense ainsi en oscillations sans cesse décroissantes autour de la position d'équilibre.

Il en résulte autour de l'appareil la production de deux champs superposés, l'un *électrostatique* créé par les charges des armatures du condensateur, l'autre *magnétique* produit dans l'espace entourant le fil de décharge par les courants successivement de sens contraire qui parcourent le conducteur. Ces deux

champs, tous les deux oscillants, mais décalés l'un par rapport à l'autre d'une demi période, forment par leur superposition un *champ électromagnétique*.

Or FEDDERSEN, en dilatant par la rotation rapide d'un miroir concave l'image de l'étincelle explosive d'une bouteille de Leyde a pu séparer dans l'espace les phénomènes lumineux très voisins dans le temps constituant l'étincelle. Il a ainsi mis en évidence d'une façon expérimentale le caractère oscillatoire de la décharge et en a déduit la période d'oscillation.

Mais les oscillations ainsi étudiées étaient relativement lentes (entre $\frac{1}{30.000}$ et $\frac{1}{400.000}$). Il était réservé à HERTZ de découvrir un appareil capable de produire des oscillations beaucoup plus rapides. Son appareil se compose de deux conducteurs symétriques chargés par une puissante bobine de Richmkorff à des potentiels égaux et de signes contraires. Toutes les fois que la différence de potentiel dépasse une certaine limite, une étincelle éclate entre les deux conducteurs. Cette décharge crée un champ électromagnétique pourvu que l'appareil réponde aux conditions de la formule de Thomson.

Avec cet appareil HERTZ obtenait des longueurs d'ondes de 6 mètres, avec un autre plus petit il est arrivé à 60 centimètres. Mais on ne s'est pas arrêté là. M. RIGHI, le savant physicien italien, avec son excitateur à huile, a pu abaisser la longueur d'onde des oscillations hertziennes d'abord à 10 centimètres puis à 25 millimètres. Enfin un jeune professeur hindou M. SAGADIS CHUNDER BOSE a obtenu des vibrations beaucoup plus rapides dont la longueur d'onde est de

6 millimètres. Le tableau suivant résumera les perfectionnements successifs des excitateurs.

	Longueur d'onde	Vibrations par secondes
Grand exciteur de Hertz	6000 mm	50.000.000
Petit — —	600	500.000.000
Excitateur de Righi (Sphères de 4 ^m)	100	3.000.000.000
— — (Sphères de 8 ^m)	25	12.000.000.000
Excitateur de S. Ch. Bose	6	50.000.000.000

Des vibrations 10.000 fois plus rapides que les dernières donneraient une couleur visible pour la réline (l'orangé). On se trouve, dit M. Bose, à treize octaves seulement de la lumière perceptible pour la réline (92).

Mais pour voir les ondes créées par l'excitateur il ne faut pas compter sur l'œil puisqu'il n'est pas impressionné. On se sert alors pour explorer le champ électromagnétique d'un petit appareil, le *résonateur*, composé tout simplement d'un anneau métallique présentant une coupure que l'on a munie d'un micromètre à pointes ou à boules. Dès qu'un résonateur est placé dans le voisinage d'un exciteur en activité un flot d'étincelles jaillit entre les pointes de son micromètre. Grâce à cet instrument on peut mettre en évidence les *ondes électromagnétiques* qui se propagent à travers l'espace autour de l'excitateur, et autour d'un fil conducteur.

Mais ce n'est pas assez d'avoir créé des ondes, d'avoir trouvé un appareil capable de les déceler, d'avoir montré que leur vitesse de propagation est égale à celle de la lumière. Pour admettre l'identité de leur nature avec la lumière, il faut montrer qu'elles

en ont toutes les propriétés et qu'on peut reproduire avec elles tous les phénomènes optiques.

Malheureusement la longueur d'onde beaucoup plus grande que pour la lumière vient gêner les expérimentateurs. On a cependant triomphé de cette difficulté de mieux en mieux à mesure que l'on parvenait à produire des ondes plus courtes et on est arrivé ainsi à montrer :

1° Que le bois, la pierre, le soufre se laissent traverser par les ondes électromagnétiques comme le verre par la lumière ;

2° Que les métaux arrêtent les ondes et les réfléchissent suivant les lois ordinaires de la réflexion lumineuse ;

3° Que l'on peut réaliser des phénomènes d'interférence électromagnétiques et faire interférer les rayons soit sur deux miroirs (expérience des deux miroirs de Fresnel) soit à travers deux prismes de soufre (expérience du biprisme de Fresnel).

4° Que la magnifique expérience des anneaux colorés de Newton ou des irisations des lames minces pouvait être reproduite très facilement avec les ondes électromagnétiques et des lames de paraffine.

5° Que les phénomènes de diffraction se produisent avec une netteté extrême due précisément à la grande longueur d'onde des radiations électriques. M. BOSE a même pu construire sur ce principe de véritables réseaux et mesurer ainsi la longueur d'onde des vibrations électromagnétiques produites par son excitateur.

Il y a plus. Les vibrations électriques qui sont tou-

jours polarisées, puisqu'elles sont parallèles à l'axe de l'excitateur, sont analogues aux vibrations de la lumière polarisée et permettent de reproduire :

1° La polarisation par réflexion qui sur les métaux peut être, comme avec la lumière, elliptique ou circulaire.

2° La modification du plan de polarisation par la réfraction et surtout par les réfractions multiples (expérience de la pile de glaces pour la lumière).

3° Les phénomènes de réflexion totale et la polarisation circulaire qui en résulte. L'étude des ondes électriques a même permis à ce propos de révéler un des secrets des ondes lumineuses : la pénétration d'une partie de l'ébranlement dans une couche du second milieu dont l'épaisseur n'est que celle d'une longueur d'onde.

4° Les phénomènes de biréfringence et de dichroïsme produits par les cristaux.

Si l'on ajoute à cette similitude d'effets que les radiations électromagnétiques ont à travers l'air le même mode de propagation que la lumière, la même vitesse, la même direction rectiligne, la même variation d'intensité avec la distance (pour les deux l'intensité varie en raison inverse du carré de la distance) il n'y a plus qu'à admettre que « la lumière n'est pas autre chose qu'un phénomène électromagnétique et le milieu qui la transmet est le même que celui qui sert à propager les oscillations hertziennes. » (DÉCOMBE, (36, p. 40).

Ce n'est pas tout. Des découvertes récentes ont rendu encore plus étroit le lien qui rattache l'électri-

cité et la lumière. On fait de la télégraphie optique en envoyant au loin des ondes lumineuses ; les ondes électromagnétiques, si elles étaient assez puissantes, permettraient peut-être la télégraphie hertziennne. Cette conception est devenue une réalité depuis qu'on a trouvé des appareils assez sensibles, les *radioconducteurs* (BRANLY, MARCONI, BOSE) pour vibrer au passage des ondes. La télégraphie hertziennne est la *télégraphie sans fil* dont les radiations invisibles et silencieuses vont à travers l'espace, à plusieurs centaines de kilomètres, porter la pensée humaine. Il est impossible de ne pas être frappé de l'analogie remarquable de l'onde lumineuse et de l'onde électromagnétique.

Si nous étions, écrit M. POINCARÉ (92), des géants habitués à compter les longueurs par milliers de kilomètres, c'est-à-dire par millions de longueur d'onde des excitateurs hertiens, habitués à évaluer les durées par millions de vibrations hertiennes, les rayons hertiens seraient en tous points comparables à la lumière que nous connaissons.

Cependant, l'identité de la lumière et des ondulations hertiennes n'est pas parfaite. La première divergence réside dans la longueur d'onde beaucoup plus courte pour les rayons lumineux. Nous venons de voir que ce n'est là qu'une différence de forme plutôt que d'essence. Malheureusement, il y en a encore trois autres fort importantes :

a) Les vibrations hertiennes ne se propagent pas dans tous les azimuts possibles comme celles de la lumière naturelle. Elles ont une orientation déterminée analogue à celle de la lumière polarisée.

b) Leur intensité décroît très rapidement pour devenir nulle après quelques oscillations tandis que dans la lumière l'intensité, l'orientation, la phase, la période de la vibration peuvent changer des millions de fois dans $1/10$ de seconde et se maintenir sensiblement constantes. De plus, les ondulations hertziennes ne recommencent, lorsqu'elles sont éteintes, qu'après un long silence beaucoup plus long que la période d'activité.

c) Enfin, l'énergie rayonnée par un excitateur, loin d'être la même dans toutes les directions, est maxima vers l'équateur de l'appareil, nulle vers ses pôles.

M. POINCARÉ qui soulève ces objections à la théorie de Maxwell (92) les réfute de la façon suivante.

Contrairement à ce que notre œil nous enseigne, une source lumineuse n'envoie pas dans tous les sens une égale quantité d'énergie. Il y a un maximum à l'équateur et si nous ne voyons qu'un éclaircissement uniforme, c'est que notre œil, qui ne perçoit que des moyennes ne peut nous indiquer *qu'en un dixième de seconde l'équateur a si souvent varié qu'il a pris toutes les orientations possibles.*

Pour obtenir une synthèse parfaite de la lumière, l'analogue de la lumière blanche, il faudrait dans un petit espace concentrer un nombre immense d'excitateurs orientés dans tous les sens. « Il faudrait faire fonctionner ces excitateurs simultanément ou successivement, mais sans interruption, de façon que le second entrât en branle avant que les vibrations du premier eussent complètement cessé. Il faudrait enfin, pour constater les effets, un instrument qui enregistre-

rait les énergies moyennes et qui serait comme une rétine dont les impressions persisteraient pendant des trillions d'oscillations hertziennes. » (POINCARÉ, 92 p. 77).

Phosphorescence et fluorescence (dégradation de l'énergie lumineuse). — Nous avons vu précédemment que l'électricité, la chaleur pouvaient donner de la lumière, mais il est d'autres cas où la lumière frappant certains corps se transforme en une autre énergie lumineuse de longueur d'onde différente.

WIEDEMANN a désigné ces phénomènes sous le nom générique de *phénomènes luminescents* et a proposé de les diviser en deux catégories :

1° Les phénomènes de *phosphorescence* comprenant tous les cas où la lumière tombant sur un corps le transforme en une source de radiations qui *persistent* encore *après la suppression* de la lumière excitatrice ;

2° Les phénomènes de *fluorescence* qui sont ceux dans lesquels l'émission des rayons transformés par le corps *cesse en même temps* que la lumière excitatrice.

Mais il est nécessaire d'insister sur ce point que dans la première catégorie comme dans la seconde les rayons émis par le corps qui reçoit l'action de la lumière ont une réfrangibilité moindre ou tout au plus égale à celle des rayons excitateurs. C'est une vérification de la grande loi énergétique qui veut que toute transformation soit accompagnée d'une perte de force. Il y a en quelque sorte *dégradation* de l'énergie lumineuse. Si la lumière excitatrice est de l'ultra-

violet, le corps luminescent pourra émettre des rayons actiniques, lumineux, calorifiques, mais si la lumière excitatrice est du rouge, on ne pourra obtenir que des rayons infra-rouges par la luminescence.

L'observation des phénomènes de luminescence est assez ancienne. La première qui mérite quelque créance est celle de BENVENUTO CELLINI dans son traité sur la bijouterie publié au XVI^e siècle. Elle a trait à une escarboucle qui brillait dans les ténèbres. Les savants de l'époque n'y crurent pas ainsi qu'en témoigne une curieuse citation empruntée par M. BECQUEREL (10) à l'histoire des pierreries de Boèce de Boot, (début du XVII^e siècle). Mais à la même époque (1603), un artisan de Bologne, VINCENZO CASCARIOLO (27) découvrit la phosphorescence du sulfure de baryum impur en cherchant la pierre philosopale. On recommença la préparation du *phosphore de Bologne* et l'attention fut attirée du côté de ces curieux phénomènes. BOYLE remarquait bientôt que le diamant insolé luit ensuite pendant quelque temps à l'obscurité. Enfin, en 1764, JOHN CANTON, faisait connaître une nouvelle substance luminescente, beaucoup plus remarquable que la pierre de Bologne, qu'il obtenait en chauffant au rouge, pendant une heure, des écailles d'huîtres calcinées et pulvérisées, mélangées avec un peu de soufre. Ce sulfure de calcium impur reçut le nom de *phosphore de Canton*. Depuis, la luminescence a fait l'objet de nombreuses recherches, citons celles de PELLETIER sur le sulfate de quinine (1824), celles de RADZIEWSKY (1877) celles du Professeur RAPH. DUBOIS (1900), de LEBON (1902). Nous renvoyons pour des détails plus nom-

breux sur la luminescence de cause mécanique et chimique à la récente et intéressante thèse de M. E. BRIDON (23).

Nous ne nous occuperons ici que des phénomènes provoqués par la lumière qui est, du reste l'agent le plus apte à provoquer la phosphorescence ou la fluorescence.

C'est à E. BECQUEREL que l'on doit assurément les recherches les plus complètes sur ce sujet. Il a montré qu'il n'y avait dans la *phosphorescence* rien d'analogue à la luminosité du phosphore où l'oxydation joue un rôle nécessaire. Les effets sont dus à quelque chose qui se passe dans le corps lui-même. Sous l'influence de la lumière se produit une modification moléculaire rapide et l'état initial ne se rétablit que lentement avec restitution de l'énergie lumineuse emmagasinée.

La durée de la phosphorescence est très variable ; de 30 heures avec le sulfure de strontium, elle n'est plus que de quelques heures avec le diamant, de 15 à 20 secondes avec l'arragonite.

BECQUEREL put même prouver, à l'aide de son *phosphoroscope*, que la plupart des corps sont phosphorescents mais pendant un temps très court, le plus souvent une fraction de seconde.

On peut activer le dégagement d'énergie lumineuse emmagasinée par le corps insolé. Il n'a qu'à le chauffer, mais on perd en durée ce que l'on gagne en intensité et la phosphorescence s'éteint beaucoup plus tôt. Le phénomène est comparable à la décharge lente ou rapide d'un accumulateur électrique.

L'ultra-violet est la partie du spectre la plus propre

à exciter la phosphorescence car c'est là que se trouvent les vibrations les plus courtes et les plus rapides. L'ultra-violet extrême que Cornu a reculé jusqu'à la longueur d'onde de $0\mu 18$ et Schumann jusqu'à $0\mu 12$ se prête merveilleusement à ces constatations.

L'infra-rouge, qui normalement ne devrait pas agir d'après les principes que nous avons énoncés, peut cependant être rendu visible. Si on insole d'abord une plaque recouverte de substance phosphorescente et qu'on la place ensuite dans la partie calorifique du spectre, son éclat est temporairement augmenté. BECQUEREL a donné à ces rayons qui se comportent de même vis-à-vis d'une plaque photographique déjà impressionnée, le nom de *rayons continuateurs*. Il s'est servi de ce curieux phénomène pour l'étude de l'infra-rouge (14 et 16).

Les rayons de Röntgen et ceux du radium dont la longueur d'onde est encore inférieure à celle des rayons ultra-violets sont les meilleurs agents de production de la phosphorescence. Ceci vient justifier la place que nous leur avons attribuée dans la gamme des radiations. Les rayons N de Blondlot se comportent plutôt au contraire comme les rayons continuateurs de l'infra-rouge. Ils ne provoquent directement aucune luminescence. Ce sont des « irréguliers » dans notre classification, des sortes d'enfants terribles au capricieux caractère. Peut-être méritent-ils une autre place.

Les substances *fluorescentes* jouissent de la propriété d'émettre, lorsqu'on les illumine, une belle lumière autrement colorée que la substance excitatrice.

MUSCHENBROEK, HAUY, HERSHELL, sont ceux qui ont étudié les premiers ce phénomène d'une façon attentive, mais c'est à STOKES que l'on doit (106) les recherches les plus complètes et les plus importantes.

Il formula une loi qui porte son nom et que l'on peut énoncer ainsi : La lumière produite par fluorescence correspond toujours à des radiations moins réfrangibles que la lumière excitatrice. BECQUEREL, en confirmant ces résultats par ceux qu'il avait obtenus dans l'étude de la phosphorescence, a établi un lien indiscutable entre les deux phénomènes et a pu définir la *fluorescence* : une *phosphorescence instantanée*.

Les substances les plus fluorescentes sont l'esculine extraite de l'écorce de marronnier d'Inde, la fluorescéine, l'éosine, l'anthracène pur, le sulfate de quinine, le verre d'urane, le pétrole, le curcuma, les platino-cyanures de baryum, de calcium, le tungstate de calcium. Ces derniers servent à la confection des écrans destinés à l'examen des rayons X. Tout ce que nous disions plus haut sur les radiations de longueur d'onde plus petite que l'ultra-violet s'applique aussi bien au corps fluorescent.

Je ferai cependant remarquer qu'un corps fluorescent peut perdre sa fluorescence avec un changement dans son état. Ainsi les platino-cyanures ne présentent leur maximum d'éclat que sous une certaine forme cristalline très recherchée par les radiographes ; en solution ils ne sont plus fluorescents.

C'est grâce à ces phénomènes que SORET a pu étudier d'une façon très complète le spectre ultra-violet. Il se

servait d'oculaires spectroscopiques munis d'un verre d'urane.

Les propriétés électriques de l'ultra-violet. — Les rayons actiniques du spectre, qui jouissent de la curieuse propriété de produire des réactions chimiques et de provoquer des phénomènes de luminescence, peuvent de plus décharger les corps électrisés.

HERTZ est le premier qui le constata. WIEDEMANN et EBERT étudièrent de plus près le phénomène en plaçant dans le circuit d'un excitateur relié à une machine de Holtz un tube de Geissler.

HALLWACHS a montré très simplement au moyen d'un électroscope à plateau, que la charge de l'appareil disparaît très lentement tant qu'il n'est pas éclairé ou même à la lumière pourvu que le plateau soit chargé d'électricité positive. S'il est chargé d'électricité *néga-*
tive et qu'on vienne à l'éclairer, les feuilles d'or se rapprochent très vite. Les rayons violets et ultra-violets du spectre sont les seuls actifs.

Nous avons, il y a deux ans environ, réalisé une expérience qui vient confirmer les précédentes. On relie les deux boules d'un excitateur à une petite bobine de Ruhmkorff, puis on les écarte de façon à supprimer entre elles le flux d'étincelles. A ce moment si l'on vient à approcher de la boule négative une pointe métallique ou l'extrémité d'un crayon, les étincelles recommencent à éclater nombreuses et serrées et la distance explosive est notablement accrue. La pointe présentée en face de la boule positive ne produit aucun phénomène semblable. Il n'est pas douteux

que la pointe ne soit dans ce cas la source d'une petite aigrette dont les rayons ultra-violetes déterminent le phénomène.

RIGHI et STOLETOW, BICHAT, et BLONDLOT ont étudié de plus près encore les propriétés électriques de l'ultra-violet. LÉNARD a même montré (octobre 1900) qu'on pouvait réaliser au moyen de ces rayons les expériences faites par PERRIN en 1896-97 avec les rayons X. Mais les rayons X déchargent indifféremment tous les corps électrisés tandis que les radiations ultra-violettes n'agissent que sur les corps électrisés négativement, ce qui établit entre eux une distinction bien nette.

Nous avons eu l'idée d'utiliser ces propriétés électriques de l'ultra-violet pour la construction d'un *actinomètre électrique* très sensible permettant des mesures de deux façons différentes, soit par l'éloignement des sources lumineuses jusqu'à ce qu'elles n'influent plus le détonateur à boules dont nous avons parlé (c'est le procédé le plus simple) soit par l'interposition entre la source et le détonateur d'une cuve à parois de quartz et d'épaisseur variable. On y verse un liquide qui absorbe les radiations à mesurer ; l'épaisseur plus ou moins grande donnée à la cuve pour supprimer le flot d'étincelles permet de comparer facilement la puissance actinique de plusieurs sources. Le procédé est d'autant plus précieux que les rayons chimiques du spectre sont seuls actifs et qu'on sélectionne ainsi instantanément dans un ensemble complexe de radiations celles que l'on veut apprécier. Nous publierons ultérieurement les recherches entreprises à l'aide de cet appareil.

Résumé des transformations de la lumière par les corps. — Il nous est facile de résumer maintenant les transformations que subit la lumière qui vient frapper un corps.

Ainsi que le fait remarquer très exactement A. BROCA, dans le traité de Radiologie médicale de Bouchard (p. 305), une partie est *réfléchie* en faisant un angle d'incidence égal à l'angle de réflexion ;

Une partie est *réfractée* et le nouveau trajet du rayon est, vis-à-vis de l'incident, dans le même rapport que les vitesses v v' de la lumière dans le milieu extérieur au corps et dans le corps lui-même.

On a $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V}{V'} = n$ (indice de réfraction.)

Une partie est *diffusée*, et il n'y a plus de relation simple entre la vibration nouvelle qui émane de la surface diffusive et la vibration initiale. Mais il n'y a pas de transformation de radiations et la couleur de la radiation diffusée est identique à celle de la radiation éclairante. De plus la lumière diffusée n'a que la durée de la lumière excitatrice.

Si le corps est *fluorescent*, il devient pour son compte une source nouvelle de radiations, qui s'éteint avec la lumière excitatrice. Mais, et c'est là ce qui distingue ce phénomène de la diffusion, le poli de la surface du corps ne joue aucun rôle et la lumière émise a toujours une réfrangibilité moindre que celle de la source première.

Dans la *phosphorescence* vient se superposer à ce dernier phénomène une mise en réserve d'énergie qui prolonge l'effet lumineux après l'extinction de la lumière excitatrice.

Enfin, même si le corps semble parfaitement transparent pour la lumière, il l'*absorbe* en partie et de plus en plus à mesure que son épaisseur va croissant. C'est de ce dernier phénomène dont nous allons dire quelques mots.

Absorption exercée par les corps transparents. — Loi de l'absorption. — Thermochrose, actinochrose et cryptochrose. — De même qu'il n'y a pas de corps tout à fait opaque, il n'y a pas de milieu parfaitement transparent. Le verre, l'eau, l'air lui-même, sous une épaisseur convenable absorbent tout ou partie des radiations qui les traversent.

Mais le corps exerce une véritable sélection sur les rayons qui le pénètrent ; il retient les unes, laisse passer les autres quand on opère en lumière blanche.

Si l'on ne considère que de la lumière monochromatique, l'expérience permet de constater que la lumière décroît d'une façon géométrique quand l'épaisseur traversée croît d'une façon arithmétique. On exprime cette *loi de l'absorption* par la formule

$$I = I_0 a^x$$

I désignant l'intensité restante, I_0 l'intensité originelle, a le coefficient de transmission de la substance donnée. On voit facilement que la décroissance de la lumière devient très grande si la valeur de a est un peu considérable ; mais en tendant vers zéro elle ne devient jamais nulle.

Lorsqu'un corps est transparent pour la lumière, on le nomme *diaphane* et s'il ne possède pas de couleur propre on l'appelle *incolore*. Par analogie on a distin-

gué les substances en *diathermanes* (qui se laissent traverser par la chaleur), *athermochroïques* (qui transmettent toutes les radiations calorifiques) et *thermochroïques* (qui sont colorées pour la chaleur, c'est-à-dire qui font une sélection des radiations transmises). L'étude des corps à ce point de vue constituera la *thermochrose*. Nous diviserons de même par rapport aux rayons actiniques les diverses substances en *diactinoboles* (de *διεκτινολέω* = je lance des rayons) *anactinochroïques* et *actinochroïques* (1) selon qu'elles se laissent traverser par les rayons chimiques, qu'elles les transmettent toutes ou en arrêtent une partie.

Les substances *diathermanes* et *diactinoboles* sont rares. Le sel gemme est un des rares corps qui laisse passer à peu près aussi bien toutes les radiations infra-rouges, lumineuses ou ultra-violettes. Il est de plus *athermochroïque* et *anactinochroïque*.

Les substances *diathermanes* que l'on peut rapprocher du sel gemme sont le fluorure de calcium, le spath, le quartz, le verre, mais elles sont *thermochroïques*.

L'alun, l'acide citrique, la glace et l'eau sont au contraire *athermanes* mais *diactinoboles*.

D'autres corps enfin sont opaques pour la lumière et *anactinoboles* (arrêtent les rayons chimiques) mais sont *diathermanes* et *thermochroïques*, par exemple le sel gemme noirci et le quartz enfumé. La solution

(1) Je regrette que le mot *diactinobole*, que j'ai formé de toutes pièces sur le verbe grec, s'écarte par sa terminaison de *diaphane* et de *diathermane*, mais je ne vois guère le moyen de choisir une autre expression.

d'iode dans le sulfure de carbone jouit au maximum de cette propriété. Elle a été étudiée très attentivement à ce propos par ABNEY et FESTING (2 bis).

Enfin il peut arriver que deux corps diathermanes soient thermochroïques pour des régions différentes. Si on les superpose on obtient alors un *ensemble* athermane. Tels sont le mica noir et l'alun.

Pour les rayons ultra-violets le quartz est la substance la plus *diactinobole*, il est de plus diaphane et diathermane : il laisse donc passer des radiations des trois parties du spectre. Cependant il est *actino-chroïque* et absorbe la dernière raie double de l'aluminium. Cet actinochroïsme augmente avec l'épaisseur et sous 10 centimètres il intercepte de plus les deux raies 31, la raie 30 et affaiblit beaucoup la raie 29 ($\lambda = 0\mu, 20243$). L'eau pure est transparente à peu près comme le quartz.

Le spath est moins transparent encore et limite à la raie 26 ($\lambda = 0\mu, 21444$) le spectre ultra-violet. Le verre l'absorbe presque tout entier.

Le bisulfate de quinine, la dissolution d'écorce de marronnier d'Inde (esculine), le verre jaune d'urane sont à peu près opaques pour les rayons chimiques qu'ils transforment.

SORET (105) a étudié à l'aide d'une cuve d'épaisseur variable et de son oculaire spectroscopique fluorescent l'absorption relative de diverses substances pour les rayons actiniques.

Il a pu constater ainsi qu'un grand nombre de milieux transparents éteignent d'abord le spectre chimique et que l'extinction s'étend de plus en plus

vers la raie A à mesure que l'épaisseur augmente. De ce nombre sont le vin vieux, l'eau-de-vie, le verre jaune, le verre rouge.

Les milieux de couleur bleue ou violette se comportent de façon tout autre. Tandis qu'ils sont athermanes, ils laissent passer facilement les rayons très réfrangibles de E en P. Lorsque leur épaisseur augmente ils arrêtent toute lumière même verte et bleue ; ils sont alors opaques pour les rayons visibles, tandis que subsiste leur *diactinobolisme* pour les rayons chimiques. Nous nous sommes appuyés sur ces recherches pour le choix du liquide cupro-ammoniacal de notre actinomètre.

Les sels de nickel sous une épaisseur suffisante laissent passer seulement une lumière verte et arrêtent tous les autres rayons. Les sels de manganèse et de chrome pris dans les mêmes conditions absorbent tout sauf la lumière violette.

La plus ou moins grande transparence des *milieux de l'œil* pour les radiations ultra-violettes a fait le sujet d'intéressantes recherches de SORET et de CHARDONNET (29). Ils ont montré que la cornée, l'humeur aqueuse et l'humeur vitrée sont transparentes pour les rayons chimiques jusqu'à la raie U ($\lambda = 0\mu, 29480$) mais le cristallin les éteint à partir de L ($\lambda = 0\mu, 38190$) ou de M ($\lambda = 0\mu, 37288$). La rétine est donc efficacement protégée contre les vibrations trop rapides de l'éther par l'opacité des milieux oculaires.

Nous terminerons par une curieuse observation de M. de CHARDONNET sur l'argent métallique (28). En couche mince comme celle qui se trouve sur les

miroirs, il est transparent pour les radiations actiniques comprises entre les raies O et T. On peut ainsi photographier une statue de marbre de Carrare illuminée par la lumière électrique au moyen d'un objectif argenté opaque pour toute lumière visible.

Les phénomènes de la thermochrose et de l'actinochrose ont une importance considérable dans l'étude des radiations et surtout de leurs applications (1). Récemment ils ont donné l'idée d'une nouvelle méthode pour apprécier la « couleur » des rayons X. La *cryptochrose* (étude de la couleur des radiations inconnues) ou *radiochrose* vient donc agrandir encore l'étude de l'absorption. Les rayons X se propageant en ligne droite, sans réflexion, sans réfraction, sans polarisation et sans diffraction, il semble impossible de séparer les différentes radiations qui les constituent. On peut cependant y arriver par le procédé même de Melloni pour la chaleur. Un corps donné ayant une absorption sélective peut servir de « filtre à radiations ». Des sources différentes ne donneront pas le même effet après que leur lumière aura traversé un semblable milieu. M. L. BENOIST, après avoir longuement et minutieusement étudié la transparence de la matière aux rayons X, a pu ainsi définir toute une série de radiations de Röntgen à l'aide de son *radiochromomètre*.

Mais que deviennent ces radiations arrêtées au

(1) Ils permettent notamment, à l'aide d'écrans convenablement choisis, d'éliminer d'un ensemble de radiations celles qui pourraient être nuisibles en ne conservant que celles dont on a besoin pour obtenir un effet thérapeutique déterminé.

passage par les divers milieux ? L'étude de la fluorescence et de la phosphorescence peut nous renseigner à ce sujet. Elles sont *transformées* et la force vive qu'elles contenaient reparait soit sous forme de chaleur (effets *calorifiques*), soit sous forme de lumière de longueur d'onde moindre (effets *luminescents*), soit sous forme de phénomènes *chimiques* ou, au sein des tissus vivants, sous forme de phénomènes *physiologiques*. Le médecin, en les appliquant à bon escient, pourra donc déterminer des modifications dans la vitalité du bioprotéon et obtenir des *effets thérapeutiques*. Ajoutons à ce propos que le sang absorbe les rayons chimiques mais que les tissus, surtout lorsqu'on les a ischémiés, sont au contraire assez perméables.

CHAPITRE III

Les sources de radiations lumineuses et ultra-violettes

Après avoir montré que la chaleur, la lumière, l'action chimique sont trois modalités de l'énergie rayonnée par le soleil, nous avons indiqué qu'il y a dans le spectre certaines régions où l'action de l'une l'emporte sur les autres. La *photothérapie* utilise tantôt les unes, tantôt les autres de ces radiations, parfois même toutes ensemble mais comme il a été démontré (nous le verrons plus loin), que l'action la plus importante est dévolue aux radiations actiniques, l'*actinothérapie* est une des branches les plus importantes de cette nouvelle méthode thérapeutique.

Or le soleil, source la plus puissante assurément de toutes ces ondulations, n'est pas toujours utilisable dans nos climats, de plus son action varie beaucoup suivant sa hauteur au-dessus de l'horizon et la trans-

parence de l'atmosphère (ce qui restreint les applications de l'*héliothérapie* soit *générale*, soit *locale*); il a donc fallu s'adresser aux sources artificielles de lumière.

C'est cette étude que nous allons faire rapidement. Nous laisserons presque complètement de côté les rayons calorifiques pour ne nous occuper que des rayons lumineux et surtout des rayons chimiques.

Nous diviserons les sources artificielles de lumière en plusieurs catégories suivant qu'elles sont produites

A) Par la combustion d'un corps solide (chandelle, bougie).

B) Par la combustion d'un liquide (huile, pétrole).

C) Par la combustion d'un gaz (gaz d'éclairage).

D) Par l'incandescence des terres rares (bec Auer).

E) Par le passage d'un courant électrique.

a) Dans un conducteur qu'il chauffe (lampe à incandescence, lampe Nernst).

b) Entre deux conducteurs combustibles (arc voltaïque).

G) Par la décharge d'un courant à haut potentiel.

a) Entre deux conducteurs métalliques (étincelle).

b) D'un conducteur dans l'air (aigrette électrique).

c) Dans les gaz raréfiés (tubes de Geissler).

Dans les classes A, B et C nous ne trouvons aucune source notable de radiations chimiques à part cependant celle de l'acétylène. Dans la classe D, l'incandescence du bec Auer ou du chalumeau oxyhydrique donne

au contraire une assez forte proportion de rayons réfringibles et relativement peu de radiations calorifiques. Mais la difficulté de réglage de ces sources, l'abondance de gaz toxiques qu'elles produisent les a fait laisser de côté pour la photothérapie.

L'*électricité* est aujourd'hui la seule source à laquelle s'adresse le praticien employant des méthodes thérapeutiques physiques. Nous allons voir succinctement les divers dispositifs qui transforment l'énergie électrique en énergie lumineuse.

Lampes à incandescence. — Elle repose sur l'échauffement qu'éprouve un conducteur résistant sous l'influence du passage du courant. La loi de Joule régit le phénomène. Elle indique que la quantité de chaleur dégagée, dans l'unité de temps, par un courant électrique, dans un conducteur déterminé, est proportionnelle au carré de l'intensité du courant et à la résistance du conducteur. On peut la résumer ainsi :

$$Q = \frac{R I^2 T}{4,17}$$

Q représentant la quantité de chaleur dégagée,

R la résistance du conducteur,

I l'intensité du courant qui le traverse,

T le temps, exprimé en secondes.

Le conducteur, dans une lampe à incandescence, est un petit filament de carbone enfermé dans une ampoule où le vide a été poussé, à l'aide de la pompe à mercure, jusqu'à ne plus avoir qu'une pression de 0^m/m03.

La température (1.600 degrés) n'est pas suffisante pour produire, comme dans l'arc voltaïque, la vaporisation du carbone, aussi la lampe à incandescence donne-t-elle assez peu de rayons chimiques et le verre de l'enveloppe contribue encore à les diminuer. La lumière produite est surtout riche en rayons calorifiques et lumineux. La proportion des rayons calorifiques va du reste en augmentant à mesure que la lampe vieillit.

La lampe à incandescence ordinaire est donc un mauvais moyen d'obtenir des rayons chimiques.

Bien différente, à ce point de vue, est la *lampe Nernst*. Elle repose, comme l'on sait, sur l'incandescence des terres rares (zircone, thorine, etc.) devenues relativement conductrices du courant à haute température. Là, l'incandescence est le blanc éblouissant, de plus, la lumière se produit à l'air libre, double raison pour une émission abondante de rayons chimiques. Je crois que cette source, surtout si elle dépense une énergie électrique assez élevée, 200 à 300 watts, peut rendre de grands services en photothérapie. Elle n'a qu'un inconvénient, sa fragilité.

Arc voltaïque. — La plus puissante source artificielle de radiations calorifiques, lumineuses et chimiques est certainement l'arc voltaïque.

On l'obtient en faisant passer un courant électrique d'intensité assez grande entre deux conducteurs de charbon terminés en pointe. Pour que l'arc se produise, il faut d'abord amener au contact les deux pointes de charbon. Elles rougissent et sont portées

au blanc éblouissant ; le carbone brûle, se réduit en vapeurs. On peut alors les écarter, car la vapeur de carbone rend l'espace intermédiaire conducteur.

Si on observe ce qui se passe pendant le fonctionnement de l'arc, on constate que l'un des charbons s'use plus vite que l'autre, c'est le positif, de plus il se creuse en cratère tandis que le négatif s'allonge en pointe. Ces phénomènes sont dûs au passage du courant qui va du pôle + au pôle — et qui arrache des particules matérielles d'un des charbons pour les porter sur l'autre.

La température des pointes de charbon au niveau de l'arc correspond à température de vaporisation du carbone. Elle a été évaluée à 3.600 degrés. C'est grâce à cette circonstance que les radiations chimiques sont très intense dans l'arc, la longueur des ondulations diminuant avec l'augmentation de l'énergie calorifique mise en jeu.

Lorsque l'arc est alimenté par du courant continu, les charbons prennent rapidement l'aspect mentionné plus haut. On a remarqué que la lumière n'était pas égale dans les trois parties constituant de l'arc : charbon positif, flamme de l'arc, charbon négatif. Le cratère du *charbon positif* où existe le maximum de température est aussi celui d'où émane la plus grande quantité de lumière. Des mesures photométriques ont indiqué qu'il rayonne 85 % de la lumière totale, l'arc 10 % et le charbon négatif 5 %. Il y aura donc avantage dans les applications photothérapiques à tourner le cratère vers la partie à traiter. Non seulement la lumière utilisée sera bien plus intense, mais le cratère positif la reflètera comme le ferait un petit

miroir. La lumière projetée est au maximum quand les charbons font entre eux un angle de 45 degrés.

Si la source d'électricité est du courant alternatif (par exemple, secteur de la rive gauche de la Seine à Paris ; courant des Forces motrices du Rhône (Jonage) à Lyon ; courant des Forces motrices de la Vézère, à Limoges ; courant des Forces motrices de Chapareil-lan, à Chambéry), l'aspect des deux pointes de charbon n'est plus le même. Le charbon positif s'use aussi vite que le négatif et tous les deux sont taillés en pointe. Ils émettent de la lumière en quantité sensiblement égale. Le maximum de l'intensité lumineuse est obtenu quand les deux charbons sont inclinés l'un sur l'autre de façon que leurs axes fassent entre eux un angle de 90 degrés. La température des deux charbons est la même que dans le cas du courant continu : elle correspond également à celle de la vaporisation du carbone. L'arc alimenté par du courant alternatif est moins avantageux que celui alimenté par du courant continu car on ne peut concentrer sur un des charbons l'énergie lumineuse et chimique pour la projeter sur les tissus à traiter.

On peut augmenter beaucoup la quantité de rayons chimiques émis par un arc voltaïque en employant des charbons creux dans lesquels on a glissé une baguette de fer, de magnésium, de zinc ou d'aluminium. On peut aussi faire jaillir l'arc entre deux baguettes de métal remplaçant les charbons. Le tableau que nous avons donné plus haut des spectres ultra-violets métalliques montre combien la lumière s'enrichit alors en radiations très réfrangibles. Sur ce principe ont

été construits les appareils photothérapeutiques de BANG (5, 6, 7) et de BROCA-CHATIN (24).

Étincelle électrique. — Lorsque le courant qui arrive à deux conducteurs placés à une certaine distance l'un de l'autre est porté à un haut potentiel (plusieurs milliers de volts) il ne produit généralement pas d'arc mais une étincelle qui relie par un trait de feu les deux conducteurs. En effet, si le transformateur a élevé de beaucoup la force électromotrice, il a fait baisser fortement l'intensité du courant.

La lumière de l'étincelle électrique est peu intense mais elle est très riche en rayons chimiques. Elle semble même en contenir plus que l'arc ainsi que semble le démontrer l'expérience suivante due à HALLWACHS.

Il chargeait à 1000 volts un électroscope à plateau supérieur en zinc et faisait tomber sur lui des rayons ultra-violets. Comme ces rayons ont la propriété de décharger les corps électrisés, les feuilles d'or de l'appareil se rapprochaient d'autant plus que les rayons actiniques étaient plus intenses. Or, en plaçant l'appareil à 30 centimètres d'un arc voltaïque à électrodes de charbon, il constata une diminution de charge de 200 volts en 17,2 secondes. Dans les mêmes conditions l'étincelle électrique donna en 40 secondes le même résultat.

Mais l'étincelle n'a pas encore pris place parmi les méthodes photothérapeutiques parce qu'elle nécessite un appareillage encombrant et coûteux et parce qu'on ne peut la rapprocher assez des tissus sans risquer des

décharges latérales qui viendraient traverser le corps du malade.

Aigrette électrique. — Eloignons les deux conducteurs entre lesquels se produisait l'étincelle de tout à l'heure. Il arrive un moment où la distance explosive est trop grande pour que le courant puisse la traverser sous une forme visible. Dans l'obscurité on constate alors une aigrette violacée à l'extrémité des deux conducteurs en même temps qu'on perçoit un bruissement particulier.

Cette aigrette peut être fournie très facilement par une puissante machine statique. On se sert alors d'excitateurs constitués par des tiges métalliques terminées en pointe. La pointe se place à distance du sujet en face de la région à traiter.

Mais tandis que les constructeurs ont l'habitude de construire des pointes à angle aigu, il y a avantage, ainsi que l'a montré H. BORDIER, de Lyon (19), à ce que le cône formant la pointe ait un angle droit ou légèrement obtus. L'aigrette est alors plus grande.

La pointe reliée au pôle *négalif* est la plus active (69 et 70); elle impressionne plus vigoureusement le papier photographique. Le souffle qu'elle produit est plus fort, ce qui prouve la supériorité à ce pôle de la densité électrostatique.

On peut encore remplacer la sphère métallique de l'excitateur relié à la machine par une sphère de bois ou d'un corps assez mauvais conducteur.

Un moyen pratique consiste encore à employer un petit balai formé de tiges de chiendent maintenues

serrées à une de leurs extrémités par un anneau métallique que l'on met en communication avec la source électrique.

Les *courants de haute fréquence* permettent d'obtenir les meilleures aigrettes. Aux deux bornes de la bobine à haute tension de d'Arsonval ou à l'extrémité du solénoïde de haute tension d'Oudin on recueille une véritable gerbe d'aigrettes mélangées de petites étincelles pouvant atteindre 15 à 20 centimètres.

Il bon d'ajouter à ces sources de rayons violets et ultra-violets le dispositif de Leduc de Nantes que nous verrons au chapitre des appareils.

Disons tout de suite que ni l'aigrette statique, ni l'aigrette de haute fréquence, ni le dispositif de Leduc n'ont donné les résultats qu'on attendait d'eux. Ils ne rentrent pas, à vrai dire, dans le domaine de la photothérapie.

Tubes de Geissler. — L'étincelle électrique qui éclate entre deux conducteurs et dont nous venons de parler change de nature si elle se produit dans un gaz raréfié. Lorsqu'on diminue la pression autour de deux conducteurs reliés à une source d'électricité à haut potentiel, on constate que l'étincelle augmente de longueur, devient moins bruyante et qu'enfin son éclat pâlit. Si l'air est raréfié jusqu'à une pression de quelques centimètres, chaque décharge fait apparaître, entre les boules, des bandes lumineuses pourprées. La boule reliée au pôle négatif est de plus entourée, ainsi que la tige qui lui fait suite, d'une lueur viola-

cée. C'est le premier phénomène que l'on observe dans l'*œuf électrique*.

Diminuons encore la raréfaction jusqu'à un centimètre de mercure, on voit partir de l'électrode positive ou *anode*, une colonne lumineuse qui se dirige vers l'électrode négative ou *cathode*. Elle ne l'atteint pas et en reste séparée par l'*espace obscur de Faraday*. La cathode est entourée d'une gaine lumineuse violette dans l'air, jaune dans l'oxygène pur, rose si le gaz est de l'hydrogène ou de la vapeur d'eau.

Si le gaz, dans l'enceinte qui entoure les deux conducteurs, n'a plus qu'une pression de 3 ^m/_m de mercure, on obtient l'*effet Geissler* et le tube où on opère porte le nom de *tube de Geissler*. On constate que la lumière anodique a augmenté de volume mais a pâli, tandis que la gaine cathodique a notablement augmenté d'épaisseur. On peut même remarquer qu'elle ne commence qu'à une petite distance de l'électrode négative dont un espace obscur, l'*espace obscur de Hittorff* la sépare.

C'est cette lumière violacée cathodique que l'on a pensé employer en photothérapie (LEDUC, 71). Il y aurait cet avantage qu'on n'aurait pas à éliminer avec cette source des rayons calorifiques, car il ne s'en produit point. Les rayons lumineux sont même très peu abondants; la presque totalité de l'énergie fournie à l'appareil est donc convertie en rayons chimiques. Mais le verre de l'enveloppe en arrête une grande partie, de plus l'énergie dépensée est très faible. Nous verrons au chapitre des mesures que ce procédé est loin de valoir l'arc électrique.

Pour nous résumer, nous constatons que parmi les sources artificielles de lumière, deux seules sont susceptibles de donner des résultats en photothérapie : la lampe Nernst et surtout l'arc voltaïque. Les mesures que nous avons faites avec notre actinomètre ne feront que rendre cette opinion indiscutable.

CHAPITRE IV

Rayons cathodiques, rayons de Rontgen, rayons secondaires de Sagnac. Leur production. Leurs propriétés.

Revenons au tube de Geissler dont nous nous sommes servis tout à l'heure. Si l'on diminue encore la pression à son intérieur de façon à l'amener à 1 millimètre de mercure environ, comme l'a fait ABRIA, en 1843, on voit une stratification se former à l'intérieur du tube. Ces bandes alternativement brillantes et sombres ont été attribuées par HITTORFF à l'intermittence de la décharge.

On voit d'autre part s'étendre la lueur cathodique tandis que l'espace obscur de Hittorff s'élargit. A l'anode presque plus de lumière, mais une petite étoile brillante à l'extrémité du fil conducteur.

Le tube en cet état est appelé *tube de Plücker*. Il se prête admirablement à l'analyse spectrale des gaz et

a été employé à cet effet par Abria, Plücker. RAMSAY a étudié de cette façon le spectre de l'argon et le Professeur BOUCHARD a pu ainsi découvrir ce gaz nouveau dans les gaz extraits des eaux minérales de Cauterets.

Augmentons toujours le vide dans l'enceinte où se fait la décharge. A 0 millim., 1 environ de mercure, si le vide a été fait sur de l'air, on voit la lumière négative violacée ou plutôt mauve envahir toute l'enceinte que nous supposons sphérique à partir de maintenant.

Mais l'espace obscur de Hittorff mesure déjà quelques millimètres de large. On remarque d'autre part que la lumière négative a une tendance à se concentrer en avant de la cathode et, si celle-ci est concave, à former un cône qui a pour sommet le centre de la courbure. Quant à la lumière anodique, elle a complètement et définitivement disparu. Elle ne reparaitra pas avec des pressions de plus en plus faibles. Elle est en quelque sorte incompatible avec la lumière négative.

Si l'on amène enfin la pression à n'être plus que quelques millièmes de la pression atmosphérique, ainsi que l'ont fait HITTORFF, GOLDSTEIN et CROOKES, on voit l'intérieur du tube devenir de moins en moins brillant. Il n'y reste plus qu'une sorte de nébulosité traversée par un rayonnement d'un rose violacé partant de la cathode. Ce faisceau s'est rétréci notablement depuis la dernière expérience. Il émane presque uniquement du centre de la cathode et des points les plus voisins du centre. C'est un *pinceau de lumière* de forme presque cylindrique qui va frapper la paroi de l'ampoule faisant face à la cathode et lui

communiqué une belle fluorescence verdâtre avec le verre, bleue avec le cristal. L'émission des radiations nouvelles se fait normalement à la cathode et constitue une source de *rayons cathodiques* (HITTORFF-1868).

Propriétés des rayons cathodiques. — De tous les rayonnements connus, aucun n'excite les phénomènes de fluorescence ou de phosphorescence avec autant d'intensité que les rayons cathodiques. C'est même ce qui permet de les rendre visibles pour l'œil car la rétine n'est pas influencée par eux. Les sulfures alcalino-terreux brillent d'une façon particulièrement remarquable ; le cristal donne une lumière bleue, le verre une lumière verte, la craie s'illumine en jaune et le fluorure de calcium en violet.

Cependant il ne faudrait pas pousser trop loin le vide dans l'ampoule où l'on opère, dans l'espérance d'obtenir des rayons cathodiques plus abondants ou plus intenses. Tout phénomène disparaîtrait à l'intérieur. Le tube est dit alors *trop résistant* et la décharge se ferait à la surface extérieure du verre plutôt que de traverser le vide parfait.

Quelle que soit la position de l'anode par rapport à la cathode, les rayons cathodiques se propagent d'une façon rigoureusement *rectiligne* et *normalement* à l'électrode négative. On peut le prouver à l'aide du tube à croix de Crookes.

Les rayons cathodiques sont capables d'*actions mécaniques* ; ils mettent en mouvement les ailettes d'un moulinet qu'ils viennent frapper ; ils déplacent de la cathode vers l'anode une petite roue à ailettes

mobile sur des rails de verre, la roue peut même remonter une pente assez sensible; ils désagrègent bien au-dessous du rouge une lame de platine qu'ils rencontrent et finissent par la trouser.

Les *effets calorifiques* ne sont pas moins remarquables. On peut les mettre en évidence en faisant converger le faisceau cathodique sur une lame de métal. Celle-ci, serait-elle en platine iridié, ne tarde pas à rougir, puis à fondre. Si c'est la paroi de verre d'une ampoule qui est soumise aux rayons cathodiques, elle est bientôt ramollie.

La température produite dans ces expériences peut être énorme. CROOKES et MOISSAN (157) ont montré que le diamant pouvait de cette façon être transformé en graphite ce qui suppose une température de 3600°. Ce n'est pas là le maximum. « On ne connaît pas de limite à la température que peut atteindre un corps exposé aux rayons cathodiques. » (VILLARD, 171, p. 28).

Les rayons cathodiques peuvent produire des *effets chimiques*. Les sels haloïdes alcalins ne tardent pas à se colorer sous leur action et l'on voit leur phosphorescence diminuer. C'est ainsi que le chlorure de sodium prend une teinte bleu foncé, le bromure de potassium une teinte bleue. Ces couleurs disparaissent lentement à l'obscurité, assez rapidement à la lumière solaire, très rapidement sous l'action d'une température de plus de 90° degrés centigrades (GOLDSTEIN, 146). Nous verrons que les rayons X présentent des propriétés analogues. HOLTZKNECHT a utilisé cette action dans son chromoradiomètre.

Le sel ainsi irradié perdrait une certaine quantité de

la substance électro-négative (Cl, Br) qui entre dans sa composition et donnerait une réaction alcaline très nette (E. WIEDEMANN et G.-C. SCHMIDT, 174).

J. ELSTER et H. GEITEL (140) ont montré que ces sels colorés ont acquis un pouvoir photo-électrique très intense qui va en s'atténuant peu à peu.

Enfin, les rayons cathodiques ont un pouvoir réducteur très net ainsi qu'il ressort des expériences fort intéressantes de P. VILLARD (171 p. 72). La coloration en brun violet, en face de la cathode, des verres constituant les ampoules de Crookes en est une preuve manifeste. Elle est due à la réduction des sels de plomb ou de manganèse que contient le verre.

En traversant l'air les rayons cathodiques produisent de l'ozone (LÉNARD).

Une autre propriété des rayons cathodiques qui a été décelée expérimentalement par J. PERRIN (159). Ils *transportent des charges électriques* négatives même à travers une feuille d'aluminium dont la continuité parfaite a été auparavant vérifiée au microscope. « *Le transport de charges négatives est donc inséparable des rayons cathodiques.* » C'est un sérieux argument en faveur de la théorie de l'émission pour expliquer leur nature.

Du reste, si ce sont des particules matérielles électrisées, ces particules doivent être déviées dans un champ électrique et dans un champ magnétique. L'expérience a prouvé qu'il en était ainsi dans l'un et l'autre cas. GOLDSTEIN, dès 1876 (144) a pu noter que les rayons cathodiques sont repoussés par une cathode et attirés par une anode. Depuis CROOKES, J. PERRIN, QUIRINO

MAJORANA (161), EBERT (139), ont démontré d'une façon indiscutable la *déviatiou électrostatique des rayons cathodiques*. On a pu faire mieux et calculer la déviation. En effet, si l'on désigne par e la charge, par m la masse d'une particule lancée suivant ox par une chute de potentiel V_0 , on peut écrire (en admettant qu'il n'y a pas de frottement et que, par suite, la force vive se conserve),

$$e V_0 = \frac{m}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \quad (1)$$

Mais à l'abscisse x_1 la particule se trouvant dans un champ orienté suivant oy se déplace parallèlement à — oy avec une force

$$- e F = m \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (2)$$

On en déduit (cf. 171, p. 45 pour le détail des calculs) en intégrant de x_1 à x_2 que le *déplacement* est :

$$\Delta = \frac{1}{2 V_0} \int_{x_1}^{x_2} dx \int_{x_1}^{x_2} F dx$$

Or, KAUFMANN et ASCHKINASS (152) ont trouvé que l'expérience confirmait ces données théoriques.

La *déviatiou magnétique* des rayons cathodiques est facile à constater en plaçant au voisinage d'un tube de Crookes un aimant un peu puissant. On a pu faire enrouler de cette façon en hélice les rayons cathodiques en se servant d'un champ magnétique uniforme (HITTORFF, en 1869). On a pu aussi les concentrer en un point (BIRKELAND 125), comme aussi les disperser en un véritable spectre (BIRKELAND 126).

Expériences de Lénard (155). — Jusqu'à présent nous

avons considéré les rayons cathodiques dans l'intérieur des tubes où ils étaient produits. LÉNARD, élève de Hertz, réussit à les extérioriser pour étudier leurs propriétés dans l'air à la pression ordinaire.

HERTZ avait montré que les rayons cathodiques peuvent traverser une très mince lame de métal et rendre fluorescent derrière lui une lame de verre d'urane. LÉNARD eut l'idée de pratiquer dans un tube de verre, en face de la cathode, une petite fenêtre de 1 mill. 7, de diamètre qu'il ferma avec une lame d'aluminium de 0 mill., 003 d'épaisseur. Cette lame permettait de faire et de maintenir le vide dans le tube tout en laissant sortir les rayons cathodiques.

Propriétés des rayons cathodiques extériorisés (rayons Lénard). — Les rayons Lénard sortis du tube diffusent très fortement et *illuminent l'air* mais sur 4 ou 5 centimètres seulement de longueur. Ils excitent fortement les corps phosphorescents et illuminent avec intensité un écran recouvert de pentadécylparatolylcétone.

Ils *traversent les corps solides* de faible épaisseur.

Ils agissent énergiquement sur la plaque photographique et ozonisent l'air qu'ils traversent.

LÉNARD eut ensuite l'idée de souder à la suite de l'écran d'aluminium un tube, dit *tube d'étude*, dans lequel il pouvait soit faire le vide soit introduire différents gaz. Il arriva ainsi aux constatations suivantes :

a) Les gaz s'opposent à la propagation des rayons Lénard. « L'absorption dépend seulement de la densité du gaz traversé, autrement dit de sa masse spécifique ».

Cette loi n'est pas particulière aux gaz, elle s'applique à tous les corps.

b) Les rayons Lénard *pénètrent* dans le *vide absolu* et s'y propagent quoiqu'ils ne puissent pas y être produits.

c) Les rayons Lénard sont *déviés* par un *champ magnétique* et cette déviation dépend *uniquement* de la chute de potentiel dans le tube où ils prennent naissance.

d) Les rayons Lénard *déchargent rapidement* un corps électrisé positivement ou négativement et l'air qu'ils ont traversé reste encore conducteur quelque temps après leur suppression.

e) Les rayons Lénard enfin, traversant un jet de vapeur transparente, en provoquent la condensation.

Nature des rayons cathodiques et des rayons Lénard. — Disons tout de suite qu'il résulte des recherches de LÉNARD que les rayons extériorisés ont la même nature que les rayons cathodiques de l'intérieur des tubes. LÉNARD et W. WIEN ont trouvé que le rapport $\frac{m}{e}$ de la masse à la charge d'une particule cathodique est la même que celle des particules d'un rayon Lénard. Elle varie de $1,1 \times 10^{-7}$ à $1,5 \times 10^{-7}$ (unités électromagnétiques).

De plus, la vitesse des rayons Lénard est du même ordre que celle des rayons cathodiques. Elle oscille de $2,2 \times 10^9$ à $3,6 \times 10^9$ centimètres par seconde; c'est le dixième environ de la vitesse de la lumière $\left(3 \times 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{seconde}}\right)$ (THOMSON 169). Les mesures de E. WIECHERT (173) confirment ces résultats.

La valeur de v oscillerait autour de 40.000 kilomètres par seconde, ce qui est plus de mille fois la vitesse des planètes les plus rapprochées du soleil.

Ce que nous dirons des rayons cathodiques s'appliquera donc aux rayons Lénard.

On a pensé d'abord que puisqu'ils se propageaient dans le vide et que les dernières traces de substance matérielle nuisaient à cette propagation plutôt qu'ils ne la favorisaient, ces rayons étaient dus à des vibrations de l'éther physique. LÉNARD pensait en effet que la *théorie des ondulations* leur était applicable.

Mais comme il est très difficile d'expliquer alors comment les vibrations peuvent être déviées dans un plan magnétique, et comment ces vibrations transportent des charges électriques, *Crookes* est revenu à la *théorie de l'émission*. Les rayons cathodiques seraient des *rayons matériels* formés par des particules matérielles émises par la cathode et « bombardant » la paroi opposée.

La nature de la matière qui forme ces rayons, la *matière radiante*, est encore bien mal connue. Cependant *l'hydrogène* semble jouer un rôle privilégié dans les phénomènes observés dans l'ampoule de Crookes. C'est lui qui explique le mieux les puissantes propriétés réductrices des rayons cathodiques et nous concluons avec P. VILLARD (171, p. 112): « Les propriétés physiques et chimiques de l'hydrogène font de ce gaz un corps complètement à part (1) dans la série

(1) C'est, en particulier, le seul gaz capable de traverser les métaux au rouge, c'est aussi le seul corps simple gazeux possédant des propriétés réductrices.

des éléments ; il n'est nullement invraisemblable d'admettre qu'il possède exclusivement la propriété de pouvoir donner des rayons cathodiques ; peut-être les particules radiantes proviennent-elles d'une subdivision de l'atome d'hydrogène. »

Kanalstrahlen ou rayons canaux de Goldstein. — Les phénomènes dont nous avons parlé et les rayons qui ont fait l'objet de notre étude se produisent en avant de la cathode. Mais que se passe-t-il *en arrière* ? Pour le savoir, GOLDSSTEIN (145) fit construire une ampoule en verre contenant un gaz raréfié et partagée par la cathode en deux régions dont l'une contient l'anode, l'autre ne communiquant avec la première que par d'étroites ouvertures (petits canaux) percées dans la matière constituant la cathode.

Dès qu'on fait fonctionner le tube, à l'aide d'un puissant appareil d'induction, on voit une assez vive lumière jaune sortant de chaque trou en arrière de la cathode. Ce sont ces nouveaux rayons auxquels on a donné le nom de *Kanalstrahlen* ou rayons canaux en raison de leur mode spécial de formation.

Ces rayons ne se produisent que par les trous correspondant à la zone d'où partent des rayons cathodiques de l'autre côté de l'électrode. GOLDSTEIN et ARNOLD n'ont pu les dévier dans un champ électrique ou magnétique.

Ils déchargent les corps électrisés (positivement ou négativement) et semblent eux-mêmes transporter des charges *positives* (A. WEHNELT, 172). Ils sont probablement constitués par des *ions positifs*.

Ils excitent la luminescence de diverses substances ; ils développent de la chaleur ou rencontrant un obstacle. Ils n'agissent pas sur la plaque photographique (ARNOLD).

Leur vitesse calculée par WIEN (176) a été trouvée égale à $\frac{4}{2,3} \times 10^8$. C'est une valeur près de *dix mille fois plus faible* que pour les rayons cathodiques.

Rayons X. — Parmi tous les effets des rayons cathodiques, il en est un que nous avons volontairement passé sous silence nous réservant d'en parler à part à cause de son importance exceptionnelle. En effet, *tout objet rencontré par les rayons cathodiques devient une source de rayons X.*

C'est fortuitement qu'au mois de décembre 1895, RÖNTGEN, le célèbre physicien de Wurtzbourg, les découvrit. Il avait fermé un tube de Crookes dans une enceinte opaque pour la lumière verdâtre qui s'y produisait, quand le hasard voulut qu'une parcelle de platino-cyanure se trouvât dans le voisinage. Il constata qu'elle brillait comme une petite étoile. Et ce ne fut pas sans un profond étonnement qu'il put interposer, entre elle et le tube, sa main d'abord puis un gros volume de mille pages sans éteindre sa fluorescence. Il sortait donc du tube un *rayonnement* jusqu'alors *inconnu* capable de traverser les corps opaques avec plus ou moins de facilité. RÖNTGEN nomma ces rayons : *rayons X.*

Nous avons dit que tout corps frappé par les rayons cathodiques devient une source de rayons X. C'était justement là la découverte imprévue de Röntgen. La

partie de l'ampoule de Crookes opposée à la cathode devient fluorescente sous l'influence du pinceau cathodique. C'est de cette surface qu'émanent les rayons X. Mais on ne tarda pas à s'apercevoir que le verre se ramollissait puis fondait en ce point (effets calorifiques des rayons cathodiques) ; souvent le tube se perçait et était mis hors de service. On eut alors l'idée de recevoir le faisceau de lumière cathodique sur une lame de platine placée au centre de l'ampoule. On eut les *tubes focus*, les seuls employés aujourd'hui.

Il en résulta un double avantage, le tube pouvait fonctionner longtemps sans qu'on eût crainte de voir fondre le platine, d'autre part les métaux lourds émettant le plus de rayons X, les nouvelles ampoules étaient des sources cent, mille fois plus puissantes de rayons que les tubes de Crookes primitifs.

D'autre part, comme les rayons de Röntgen émis dans ces conditions émanent pour la majeure partie d'une très petite surface de la lame de platine située en face de la cathode (et qu'on nomme pour cette raison *anticathode*), cette source intense et très étroite donne des rayons bien moins diffusés.

Le tube focus atteignit par étapes ses divers degrés de perfectionnement. On réunit d'abord l'anticathode à l'*anode* (1) par un fil métallique car le rendement en rayons X devenait meilleur, puis on inclina l'anticathode à 45° sur l'axe passant par la cathode et l'anode, de façon à pouvoir utiliser latéralement les rayons X sans être gêné par la cathode.

(1) L'*anode* est l'électrode reliée au pôle positif. C'est G dans la figure représentant le tube de Müller (voir plus loin, fig. 7).

Nous verrons plus loin le réglage des ampoules et nous n'insisterons pas davantage sur ce sujet que l'on trouvera exposé en détail dans le traité de Radiologie médicale de CH. BOUCHARD (132 bis).

Propriétés des rayons X. — Celle qui fit le succès des nouvelles radiations et qui excita un enthousiasme universel est leur aptitude à *traverser les corps opaques*.

Pour mettre cette propriété en évidence, on place devant le tube focus un écran recouvert d'une substance fluorescente, tungstate de calcium (EDISON), ou mieux platinocyanure de baryum. L'écran s'illumine brillamment. On interpose alors l'objet à examiner (main, par exemple) entre le tube et l'écran, et l'on constate que l'objet a été traversé assez facilement par les rayons. Sur l'écran se voit une pénombre reproduisant les contours de l'objet. Dans le cas de la main, on voit même l'ombre des os plus foncée que celle des chairs. C'est là le principe de la *radioscopie* qui devait rendre tant de services en chirurgie et en médecine.

Si les os sont visibles au milieu des tissus, c'est que tous les corps ne sont pas également transparents pour les rayons de Röntgen. C'est à L. BENOIST (121, 122, 123) que l'on doit les recherches les plus complètes sur la question. Il a montré que chaque corps est caractérisé par son *équivalent de transparence* qu'il a pris arbitrairement égal à une épaisseur de 75 millimètres de paraffine (épaisseur étalon) et il a formulé les lois suivantes :

« 1° L'opacité spécifique d'un corps (représentée par l'inverse de son équivalent de transparence) est indépendante de l'état physique du corps. »

« 2° L'opacité spécifique est indépendante de tous modes de groupements moléculaires ou atomiques. »

« 3° L'opacité spécifique est indépendante de l'état de liberté ou de combinaison des atomes. Autrement dit, l'opacité spécifique de la matière est une propriété additive, et essentiellement atomique. »

« 4° L'opacité spécifique des corps simples est une fonction déterminée de leur poids atomique pour chaque espèce de rayons X. »

D'après ces lois on voit facilement que le lithium (poids atomique = 7), le carbone sous toutes ses formes (P. A. = 12), l'azote (P. A. = 14), le magnésium (P. A. = 24), l'aluminium (P. A. = 27) doivent être très transparents ; que le phosphore (P. A. = 31), le soufre (P. A. = 32), doivent être moins transparents ; l'iode (P. A. = 127) et surtout le platine (P. A. = 195), l'or (P. A. = 196,6) le mercure (P. A. = 200), le plomb (P. A. = 207), le bismuth (P. A. = 208) doivent être très opaques. On s'explique alors que les os qui contiennent du phosphore soient moins transparents que les chairs qui contiennent H, C, Az, O dont les P. A. sont tous inférieurs (1, 12, 14, 16). On comprend aussi que l'iodoforme (CHI_3) soit opaque à cause de l'iode qui entre dans sa constitution.

Les rayons X ne sont *pas visibles* par un œil normal. Le cristallin les arrête, à moins qu'on ne se serve de rayons très pénétrants. Mais, chez les sujets privés de cristallin, les rayons X donnent une sensation de

lumière (Dr BRAND, de Halles). Ces expériences ne sont pas sans danger pour la rétine.

Les rayons X *se propagent en ligne droite* ainsi que le prouve la formation des ombres sur l'écran fluorescent.

Comme pour les radiations lumineuses l'intensité des rayons X varie *en raison inverse du carré de la distance*.

Les rayons X *ne se réfléchissent pas*, ils *ne se réfractent pas* ainsi que l'a prouvé M. GOUY, professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (147).

Ils ne donnent *point de phénomènes de diffraction*. Si ces rayons sont de nature périodique, leur longueur d'onde est certainement inférieure à 0,005, ce qui est la centième partie de la longueur d'onde du vert.

Les rayons X peuvent produire des *actions mécaniques* et notamment arrêter la rotation d'un radiomètre (GOSSARD et H. CHEVALLIER). Ils peuvent produire des *effets thermiques* (1) et *chimiques* (radiographies sur plaque photographique).

Comme les rayons cathodiques, ils peuvent *décharger un corps électrisé* (positivement ou négativement). Il n'y a même pas besoin pour cela que le corps soit rencontré directement par les rayons X. Il suffit que quelques-unes des *lignes de force* du corps élec-

(1) Dorn (137) l'a prouvé au moyen de lames minces exposées aux rayons X. Mais l'élévation de température est excessivement faible. Mesurée au bolomètre elle ne dépasse guère $\frac{1}{10.000^e}$ de degré. K. Schœps, E. Rutherford, R. K. Mc. Klung ont confirmé l'exactitude de ces recherches.

trisé soient coupées par les rayons X (J. PERRIN). On appelle *effet gaz* la décharge électrique qui se produit dans ce cas. L'*effet métal* est ce qu'il faut ajouter à l'effet gaz pour produire l'effet total de décharge.

Cependant les rayons X, capables de décharger un corps électrisé, peuvent charger les *diélectriques* (soufre, ébonite, paraffine).

Les rayons X se distinguent nettement des rayons cathodiques en ce qu'ils ne sont *pas déviés par un champ magnétique*; en ce qu'ils traversent la paroi de l'ampoule de verre où ils sont produits, ce que les rayons cathodiques ne peuvent faire.

Enfin, tandis que les rayons cathodiques sont électrisés, les rayons X ne le sont pas. P. CURIE et G. SAGNAC (136) ont démontré que la circulation d'électricité qui pouvait se faire dans un courant large et intense de rayons X était certainement moindre que 10^{-12} ampères.

Nature des rayons X. — Les rayons X émis par un tube focus ne forment pas un tout homogène. Ils paraissent constitués par diverses espèces de rayons, mais comme on ne peut les séparer ni par réfraction, ni par diffraction, on s'est servi de substances absorbantes variées (L. BENOIST). C'est un point des plus intéressants de leur histoire, mais encore incomplètement étudié.

Quant à la théorie des rayons X, elle n'est pas encore faite ou plutôt elle reste incertaine.

Les uns ont voulu voir dans ces rayons des rayons de lumière ordinaire ayant dans le spectre une place

bien au-delà de l'ultra-violet. Leur absence de réfraction ne serait pas pour étonner, puisque la théorie d'Helmoltz sur la dispersion prouve que l'indice de réfraction qui croît avec le nombre de vibrations diminue ensuite très vite et devient voisin de l'unité : les rayons X ne devraient donc pas être déviés, ce que l'expérience confirme effectivement.

D'autres ont supposé que les rayons X, dès leur naissance, sont causés par des vibrations de l'éther *parallèles* aux rayons eux-mêmes (RÖNTGEN). Ils ne pourraient donc être polarisés, ce qu'on observe, mais ils devraient produire des phénomènes de diffraction, ce qui n'est pas.

Une troisième théorie, donnée par MICHELSON, fait des rayons X des mouvements tourbillonnaires de l'éther sans caractère vibratoire ni périodique et ne pouvant, par suite, donner lieu à aucun phénomène d'interférence ni de polarisation.

On a proposé aussi de regarder les rayons X comme constitués par une substance matérielle émanant du tube de Crookes. Ceci rapprocherait ces rayons des rayons cathodiques, mais pour les raisons que nous avons exposées plus haut (non déviation par un champ magnétique, non électrisation des rayons X) cette hypothèse ne peut être admise.

Nous préférons la première hypothèse dans laquelle les rayons X sont le résultat de *vibrations transversales* de l'éther comme les autres radiations connues (radiations calorifiques, lumineuses, actiniques). La plupart des physiciens s'y sont ralliés. On n'a qu'à se reporter à l'étude que nous avons faite des rayons

ultra-violetes pour voir combien sont nombreux les points de ressemblance entre ces radiations. Nous y ajouterons deux faits de plus. Comme les rayons ultra-violetes, les rayons X qui passent dans l'air humide *sursaturé* provoquent la condensation de la vapeur d'eau (WILSON); comme eux aussi, ils augmentent la longueur maximum que peut atteindre entre deux conducteurs l'étincelle provoquée au moyen d'une source électrique déterminée (BORGMANN et GERSCHUN, 132).

Rayons secondaires de Sagnac. — De nouveaux rayons ont été découverts par SAGNAC (164) en étudiant les rayons X, mais nous avons rejeté en dernier lieu leur étude parce qu'ils n'émanent pas du tube de Crookes.

Ils se produisent toutes les fois que les rayons X tombent sur un métal.

Ces rayons se propagent en ligne droite; ils ne subissent ni réflexion ni réfraction. Ils excitent la fluorescence du platino-cyanure de baryum comme les rayons X.

Ils sont plus ou moins pénétrants suivant la lame métallique qui leur a donné naissance. Les éléments qui transforment notablement les rayons X communiquent cette propriété aux mélanges ou aux combinaisons qui en renferment.

Les corps légers sont en général peu actifs et donnent naissance à des rayons secondaires presque aussi pénétrants que les rayons X.

La propriété d'*activité secondaire* se présente sur-

tout comme une *qualité atomique*, mais il y a des exceptions à cette règle.

Ce qui distingue les rayons de Sagnac des rayons X, c'est qu'ils sont absorbés par les diverses substances beaucoup plus facilement que les rayons X qui leur ont donné naissance.

Si nous rapprochons ces rayons de ceux que produit la fluorescence, on comprend facilement pourquoi SAGNAC les place en deçà des rayons émanés d'un tube de Crookes. Ils n'en sont qu'une *dégradation* des rayons X.

Parmi les divers rayons que nous venons d'étudier, les rayons X sont ceux qui ont reçu de beaucoup le plus d'applications thérapeutiques. Récemment, on a essayé l'effet des rayons cathodiques. C'est des rayons X seulement que nous nous occuperons dans la partie physiologique, les rayons cathodiques inclus dans les tubes, les rayons canaux de Goldstein et les rayons de Sagnac n'ayant encore qu'un intérêt purement physique.

CHAPITRE V

Les substances radio-actives. — Le radium. — Rayons de Becquerel

Aux radiations que nous venons d'envisager sont venues s'ajouter récemment toute une catégorie de rayons nouveaux : ceux qu'émettent les substances radioactives. Ils ne diffèrent peut-être pas essentiellement des précédents, mais ils s'en distinguent par leur mode de production.

Nous n'avons pas la prétention de donner ici l'histoire complète des substances radioactives et du radium, d'autres l'ont fait mieux que nous, et nous renvoyons à la thèse de Mme SKŁODOWSKA CURIE (194) qui est le meilleur ouvrage à ce point de vue, puisqu'il est la source de tous les autres travaux publiés à ce sujet.

Les rayons X ont été découverts par un véritable hasard, le radium au contraire est le résultat de la

poursuite obstinée et des recherches infatigables de nombreux savants. On n'a pas assez insisté à mon sens, sur ce titre qu'il a à l'admiration de tous : il est dû à de prodigieux efforts dirigés par des savants de premier ordre, et il montre ce que peut donner une énergique volonté s'attaquant même aux plus difficiles problèmes.

Historique. — Le rayonnement de l'uranium. — Recherches de M. Henri Becquerel. — Nous avons dit que tous les obstacles frappés par les rayons cathodiques deviennent une source de rayons X. Or la première source de ces rayons fut la paroi du tube de Crookes opposé à la cathode. Elle brillait d'une belle *fluorescence* verte. On eut à ce moment l'idée qu'une émission de rayons X accompagnait peut-être la fluorescence toutes les fois qu'elle se produisait. Le premier, M. H. POINCARÉ (janvier 1896), pensa à un lien entre les deux phénomènes. Les chercheurs se lancèrent dans cette direction nouvelle et après des expériences curieuses de MM. HENRI, NIEWENGLOWSKI et TROOST, M. H. BECQUEREL se mit à étudier de très près la question. Sachant que les sels d'uranium sont remarquables par leur fluorescence, c'est par eux qu'il commença ses recherches.

Il put impressionner, avec du sulfate double d'uranium et de potassium, une plaque photographique au travers de plusieurs feuilles de papier noir. Les *sels d'uranium* émettaient donc un *rayonnement analogue aux rayons X*. C'était la vérification de l'hypothèse de M. H. Poincaré.

Mais l'émission de rayons n'est pas liée à l'exposition des composés uraniques à la lumière. Conservés dans l'obscurité pendant des années, ils n'en continuent pas moins, comme le remarqua M. BECQUEREL, à impressionner les plaques photographiques au travers du papier noir. Le rayonnement est donc *spontané*.

M. BECQUEREL montra enfin que le rayonnement ne tient pas à la fluorescence des sels employés mais à l'*atome* d'uranium. L'uranium métallique, non fluorescent, émettait les mêmes rayons particuliers : on les nomma *rayons uraniques*. Ils avaient la curieuse propriété de décharger les corps électrisés.

Le *premier corps radioactif* était découvert ainsi que le *principe de l'appareil* qui allait permettre de s'orienter dans cette voie nouvelle.

Les découvertes de BECQUEREL, faites en 1896 et en 1897, eurent un retentissement considérable à l'étranger. ELSTER et GEITEL, lord KELVIN, RUTHERFORD, parmi les plus connus, confirmèrent les expériences du savant français et complétèrent ses observations en annonçant que les nouveaux rayons, tout comme les rayons de Röntgen, ne subissaient ni la réflexion, ni la réfraction, ni la polarisation.

Radioactivité du thorium et de quelques minéraux. — En honneur du professeur distingué qui les avait découverts les nouveaux rayons ne tardèrent pas à prendre le nom de *rayons de Becquerel*. Mais de nouvelles recherches firent connaître d'autres corps possédant un rayonnement aussi extraordinaire que celui de l'uranium par sa constance et sa spontanéité.

Le 12 avril 1898, M^{me} CURIE, que la question avait intéressée et qui s'était mise à la travailler en compagnie de M. CURIE, annonçait que le *thorium* et ses sels émettaient des rayons pénétrants. SCHMIDT confirmait ses conclusions. En présence de ces résultats, il fallait bien admettre une propriété nouvelle de certains corps consistant en ce rayonnement singulier. M. et M^{me} CURIE désignèrent ce phénomène sous le nom de *radioactivité* et ce nom fut adopté.

Secondés par une admirable ténacité, M. et M^{me} CURIE se consacrèrent alors aux recherches d'où devait sortir le radium. Ils imaginèrent, pour mesurer le rayonnement des corps nouveaux, une méthode basée sur la décharge plus ou moins rapide d'un condensateur par les rayons uraniques et ils purent dès lors étudier divers échantillons minéraux au point de vue de leur radioactivité.

Les minéraux contenant de l'uranium ou du thorium se montrèrent tous radioactifs, mais le fait le plus remarquable, le *fait capital* de ces recherches, c'est que plusieurs d'entre eux (l'autunite, la chalcolite, la carnotite, et surtout divers échantillons de pechblende) se montrèrent beaucoup plus actifs que l'uranium métallique lui-même.

Le phénomène ne pouvait être dû qu'à un corps

Note sur la fig. 1. — En laissant agir progressivement le poids qu'elle tient dans la main droite, M^{me} Curie exerce une traction progressive sur une lame de quartz piézo-électrique et, par suite, détermine un dégagement continu d'électricité qui compense la décharge du condensateur produite par la substance radioactive étudiée. (Cliché de la *Science au XX^e siècle*, Paris)



Fig. 1. — M. et M^{me} CURIE, étudiant la radioactivité des corps par la décharge d^{es} condensateurs.

nouveau doué d'un pouvoir radiant considérable. M. et M^{me} CURIE entreprirent de l'isoler.

Ils s'adressèrent au minerai le plus fortement radioactif (la pechblende de Joachimstahl (Bohême), dont l'activité est environ quatre fois celle de l'uranium prise comme unité ou, en abrégé, *quatre unités U*. Le principe de leur méthode est le suivant : « On mesure la radioactivité d'un produit, on effectue sur ce produit une séparation chimique ; on mesure la radioactivité de tous les produits obtenus, et l'on se rend compte si la substance radioactive est restée intégralement avec l'un d'eux, ou bien si elle s'est partagée entre eux et dans quelle proportion. On a ainsi une indication qui peut être comparée, en une certaine mesure, à celle que pourrait fournir l'analyse spectrale. Pour avoir des nombres comparables, il faut mesurer l'activité des substances à l'état solide ou bien desséchées. » (M^{me} CURIE 194, p. 22).

C'est grâce à ce procédé qu'ils purent isoler le *polonium* d'abord, puis le *radium* en collaboration avec M. BÉMONT. M. DEBIERNE ajouta à ces deux premières substances très fortement radioactives une troisième, *l'actinium*.

Mais le radium est *le seul* de ces trois corps qui ait pu, jusqu'ici, être isolé à l'état de sel pur. C'est le seul dont nous nous occuperons car il est le *type des corps radioactifs*.

Comment on obtient le radium. — On n'a pas encore préparé le radium métallique, mais on connaît ses sels dont le chlorure et le bromure sont les plus actifs.

La préparation du radium est une œuvre gigantesque et ce n'est qu'en faisant appel à la Société centrale de produits chimiques que M. et M^{me} CURIE ont pu opérer une première sélection des produits radioactifs.

En effet, l'activité de la pechblende étant de quatre unités U environ, on fait monter cette activité à 60 U par un premier gros traitement. Le gros fractionnement la fait monter à 1.000 U ; enfin le fractionnement au laboratoire amène l'activité au chiffre énorme de 1.000.000 d'unités U.

Le gros traitement fait à l'usine de Javel, près de Paris, demande, outre une longue série de manipulations, une surveillance minutieuse puisqu'il n'y a que *un quart* de gramme de radium dans 1.000 kilogr. de résidus de pechblende et que le traitement nécessite l'emploi de 5.000 kilogr. de produits chimiques et de 50.000 litres d'eau de lavage. C'est donc 0 gr. 25 de radium à isoler, sans en perdre une parcelle, au milieu de 56.000 kilogr. de substance.

Voici, rapidement résumée, la marche suivie :

1° La pechblende broyée, et grillée avec $\text{CO}^3 \text{Na}^2$, est traitée par l'eau, puis par $\text{SO}^4 \text{H}^2$ étendu. La solution contient l'*uranium*; le résidu, les corps radioactifs.

2° Ce résidu, lavé à l'eau, est attaqué par HCl ordinaire. Une partie se dissout qui contient le *polonium* et l'*actinium*. La partie insoluble renferme le *radium*.

3° Le dépôt radifère est lavé à l'eau puis traité par une dissolution concentrée et bouillante de $\text{CO}^3 \text{Na}^2$. On lave alors le dépôt qui est alors formé de carbonates de baryum et de radium, puis on le traite par HCl

chimiquement pur. Le radium passe en solution avec ce qui pouvait rester de polonium et d'actinium. Le liquide filtré est précipité par SO_4H^2 . Le sulfate de baryum radifère précipite. Le polonium et l'actinium restent dans la solution. De 4.000 kilogr. de résidus de pechblende on obtient ainsi 10 à 20 kilogr. de sulfates bruts d'activité variable entre 30 et 60 unités U.

4° On transforme les sulfates bruts de l'opération précédente en sulfates plus purs en les faisant bouillir avec CO_3Na^2 , puis en traitant par HCl .

5° On lave les chlorures avec HCl pur après les avoir évaporés à sec. CaCl^2 qui existait à l'état d'impureté se dissout, il reste 8kg environ d'un mélange de chlorure de baryum et de radium (BaCl^2 et RaCl^2) dont l'activité est de 60 unités U.

L'ensemble de ces opérations a duré environ *deux mois et demi*. C'est alors que commence le long et délicat travail du fractionnement. M. et M^{me} CURIE l'ont effectué eux-mêmes dans leur laboratoire de la rue Lhomond, à l'Ecole de physique et de chimie industrielle de la Ville de Paris. Mais quelle somme de travail opiniâtre et acharné n'ont-ils pas dû dépenser pour préparer quelques parcelles du précieux produit à l'état de pureté !

Je ne retiendrai que le principe de ce nouveau traitement. « Le procédé que j'ai adopté pour extraire le chlorure de radium *pur* du chlorure de baryum radifère, dit M^{me} CURIE (194, p. 34) consiste à soumettre le mélange des chlorures à une cristallisation fractionnée dans l'eau pure d'abord, dans l'eau additionnée d'acide chlorhydrique pur ensuite. On

utilise ainsi la différence des solubilités des deux chlorures, celui de radium étant moins soluble que celui de baryum. »

On arrive ainsi à retirer d'une tonne de résidus de pechblende 1 à 2 décigrammes à peine d'un chlorure de radium pur dont l'activité est de l'ordre de grandeur du million.

Le radium est un corps nouveau. — Le nouveau corps permettait de répéter toutes les expériences que M. Becquerel avait faites avec l'uranium, mais avec une facilité et une rapidité infiniment plus grande. Il restait à démontrer que l'on était bien en présence d'un corps *nouveau*. M^{me} CURIE trouva pour le poids atomique du radium le nombre 225 (194, p. 43). Depuis M. WATTS a trouvé $Ra = 224,89$ (218), ce qui est une confirmation du résultat précédent. Ce chiffre éloigne le radium du baryum, dont le P. A. = 137, pour le rapprocher de l'uranium (P. A. = 240) et du thorium (P. A. = 233). Il est à remarquer que ces trois corps présentent des propriétés radioactives.

Le radium possède un spectre spécial bien étudié par M. DEMARÇAY (204) qui a pu mesurer la longueur d'onde de 12 de ses raies. Pour la plus forte $\lambda = 0\mu,38147$. L'aspect du spectre est celui des métaux alcalino-terreux. On peut noter à ce propos que le radium est un des corps ayant la réaction spectrale la plus sensible. Mais, comme il faut un sel radioactif ayant une puissance de 60 unités U pour apercevoir nettement la plus importante des raies du radium dans les spectres photographiés, et que d'autre part un électromètre

sensible permet de déceler l'activité d'un produit quand même elle ne vaudrait que $\frac{1}{100}$, « on voit que, pour déceler la présence du radium, la radioactivité est un caractère plusieurs milliers de fois plus sensible que la réaction spectrale » (M^{me} CURIE, 194, p. 27).

Le radium est donc un corps *simple*, un élément *nouveau* à propriétés *nouvelles*, à introduire dans la classification de Mendéléeff.

Caractères des sels de radium. — Les sels de radium récemment préparés ressemblent aux sels de baryum ; ils ont des propriétés chimiques analogues. Mais tandis que les sels de baryum sont et restent incolores, les sels de radium ne tardent pas à se colorer avec le temps.

Le chlorure de radium pur est paramagnétique, le chlorure de baryum est diamagnétique.

Mais ce ne sont là que des propriétés négligeables vis-à-vis de celles que nous allons étudier.

D'abord, dans l'endroit où se trouve un sel de radium, impossible de faire une expérience délicate d'électricité statique : les électroscopes se déchargent instantanément. Même enfermé dans un tube de plomb épais, le radium continue à agir. La substance radioactive rend donc le milieu qui l'entoure conducteur. Le radium, en effet, *ionise les diélectriques liquides tout aussi bien que les diélectriques gazeux, tel que l'air* (P. CURIE).

Il résulte de cette propriété qu'on peut avec le radium, tout comme avec les rayons cathodiques ou

les rayons X, provoquer la *condensation de la vapeur d'eau sursaturée*.

Comme pour les rayons ultra-violets, les rayons de Lénard et les rayons de Röntgen, on voit les rayons du radium *augmenter la distance explosive entre deux conducteurs pour une même différence de potentiel*.

« Tous les sels de radium sont le siège d'un *dégagement de chaleur spontané et continu* » (199). C'est une des plus étonnantes propriétés de ce corps. Il semble, comme le dit M. d'ARSONVAL, réaliser le mouvement perpétuel puisque, sans énergie extérieure, il peut maintenir perpétuellement un thermomètre placé à côté de lui à 3 ou 4 degrés au-dessus du milieu ambiant. Un gramme fournit à peu près 80 petites calories à l'heure, soit 700 grandes calories dans une année. Rien que sous la forme de chaleur directement mesurable, ce gramme de radium dégage assez de chaleur en une heure « pour élever son propre poids à 34 kilomètres de hauteur » (Berget, 188, p. 48). Mais il ne faut pas cependant se laisser hypnotiser par les chiffres et s'imaginer que le radium est une source d'énergie mécanique formidable. 80 petites calories-heures valent 34 kilogrammètres à l'heure, or un cheval-vapeur en produit 75 par seconde ou 270.000 à l'heure (J. BERGONIÉ, 189).

Les rayons du radium sont capables d'exciter à un très haut degré la *fluorescence* ou la *phosphorescence*. Ils illuminent à plus de deux mètres un écran au platino-cyanure de baryum. Sous leur influence les sels d'urane, le diamant, la blende brillent d'un vif

éclat. Le verre lui-même et surtout le verre de Thuringe deviennent fluorescents.

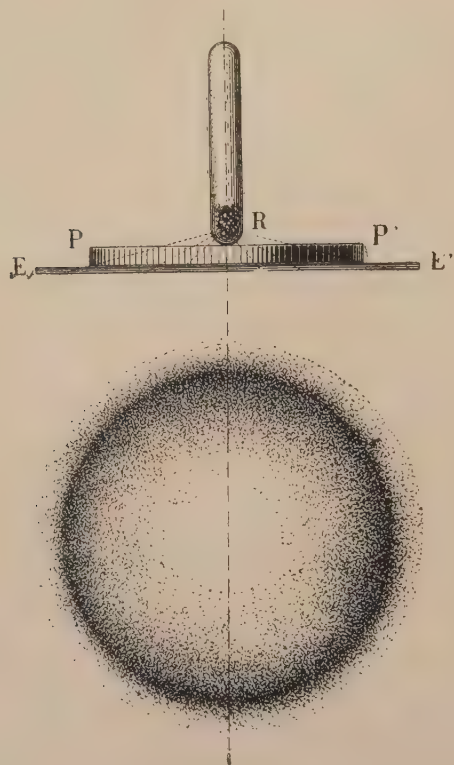


Fig. 2. — Expérience montrant le pouvoir du radium de provoquer la fluorescence et la grande pénétration des rayons qu'il émet. R, sel de radium dans un tube de verre. PP' pièce en argent de cinq francs. EE' écran au platino-cyanure de baryum. Au-dessous, aspect de la tache lumineuse sur l'écran, le tube de radium étant en contact avec le centre de la pièce.

Mais l'action sur le verre est plus profonde, car le radium est capable d'*effets chimiques puissants*. Tous les verres se colorent sous son influence au bout d'un temps plus ou moins long comme les tubes à rayons X après un long usage.

Avec les sels alcalins on obtient des colorations de la masse variant du bleu au jaune et au vert.

Le papier s'effrite sous l'influence des rayons du radium ; l'air est ozonisé au voisinage de produits très actifs. Le phosphore blanc passe peu à peu à l'état de phosphore rouge. Enfin une solution d'iodoforme dans le chloroforme (liquide de Freund) devient rapidement violette sous l'influence du radium par mise en liberté d'iode (HARDY et Mlle WILCOX).

Une autre action chimique fort curieuse produite par le radium, c'est la décomposition constante de l'eau par un sel de radium que l'on y dissout. Il se dégage un mélange d'oxygène et d'hydrogène dans la proportion de 1 à 2 en volumes.

Il ne faut pas oublier dans ce rapide résumé de l'action du radium l'impression de la plaque photographique. Les rayons du radium impressionnent en effet les sels d'argent et permettent de faire des *radio-graphies* ou mieux *radiumgraphies* en tout semblables à celles que l'on obtient avec les rayons X. Mais, comme il n'y a pas de différence bien sensible entre la transparence des chairs et des os, il faut opérer avec une très petite quantité de radium ce qui augmente beaucoup la durée de la pose.

Le rayonnement du radium. — Nous avons déjà parlé à plusieurs reprises des rayons du radium. Le radium en effet et les corps radio-actifs rayonnent d'une façon perpétuelle.

Le radium est d'abord *lumineux* ainsi que tous ses sels. Ceux qui sont anhydres et secs ont un éclat par-

ticulièrement intense qui permet de lire dans l'obscurité en s'éclairant avec une petite quantité du produit. Leur lumière, au contraire de celle que donnent les corps phosphorescents, émane de toute la masse de la substance. Elle change de teinte avec le temps mais, phénomène extraordinaire, elle ne disparaît pas. C'est là le *premier exemple* de substances spontanément lumineuses.

Ce n'est pas tout. Cette lumière visible pour l'œil constitue la plus petite partie du rayonnement du radium. C'est en effet la *lumière invisible* dont nous allons parler qui cause les effets chimiques que l'on a vus plus haut.

Les substances fluorescentes, la plaque photographique et l'électroscope la voient et l'emploi de ces trois procédés a permis de distinguer de bonne heure *trois groupes de rayons* dans le rayonnement total (Becquerel, Meyer et von Schweidler, Giesel, Villard, Butherford, M. et M^{me} Curie). BUTHERFORD les a désignés par les lettres α , β et γ .

Mais, pour mettre en évidence les trois sortes de rayons, on ne peut songer à employer la réfraction : les rayons du radium se propagent en ligne droite. On s'est servi alors d'un artifice. On a placé (fig. 3) au fond d'une cavité assez profonde creusée dans un bloc de plomb P, une petite quantité de radium R. Le rayonnement est alors rectiligne. Si nous plaçons à ce moment le bloc de plomb entre les pôles d'un puissant aimant dont le pôle nord sera en avant de la figure et le pôle sud derrière le bloc de plomb, on constate (à l'aide de la plaque photographique) que trois sortes de

rayons inégalement déviables et inégalement intenses ont pris naissance :

1° Les *rayons* α d'abord, qui semblent constituer la plus grosse partie du rayonnement. Dans un champ magnétique ils sont très légèrement déviés à gauche de la normale au plan AC. Ces rayons sont déviés

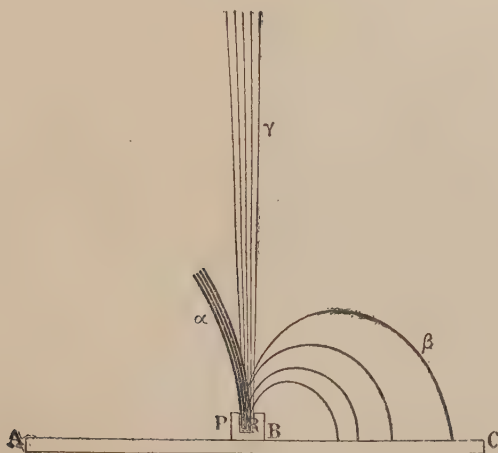


Fig. 3. — Dispersion des rayons du radium par un champ magnétique (1)

dans le même sens que les Kanalstrahlen (*rayons-canaux*) de Goldstein que nous avons étudiés plus haut. Ils sont très peu pénétrants. Une faible couche d'air ou une lame d'aluminium de 0^{mm}01 suffit pour les absorber.

Les rayons α se comportent dans un champ magnétique comme de petits projectiles chargés d'électricité positive et doués d'un mouvement très rapide. Ces petits projectiles auraient une masse de grandeur

(1) Cliché de la *Science au XX^e Siècle* — Delagrave éd. — Paris.

analogue à celle de l'atome d'hydrogène. Leur vitesse serait $\frac{1}{29}$ de celle de la lumière.

2° Les *rayons* β sont fortement déviés en sens inverse des rayons α . Leur déviation est de même intensité et de même sens que celle des *rayons cathodiques* auxquels ils sont comparables. Ils sont plus pénétrants que les rayons α mais forment un groupe très hétérogène ainsi qu'on le voit sur la figure. Les plus déviés sont les moins pénétrants.

Les rayons β se comportent comme des projectiles (électrons) chargés d'électricité négative et animés d'une grande vitesse. La masse de ces électrons serait deux mille fois plus petite que celle d'un atome d'hydrogène et leur vitesse égale, d'après M. KAUFMANN, aux $9/10$ de celle de la lumière.

Les *rayons* γ , découverts par M. VILLARD, ne sont pas sensibles à l'action d'un champ magnétique. Ils ne sont pas déviés, tout comme les *rayons* X. Ils sont analogues aux *rayons de Röntgen*. Ils ne forment qu'une petite partie du rayonnement total, mais ils sont très pénétrants. Alors que les rayons X se laissent arrêter généralement par 1 ou 2 millimètres de plomb les rayons γ traversent facilement 5 à 6 centimètres du même métal et même plus.

Ce sont les rayons γ qui donnent les meilleures radiumgraphies. On a avantage, lorsqu'on veut s'en servir, à dévier, à l'aide d'un fort aimant placé près du radium, les rayons γ capables de donner du flou aux images.

L'émanation du radium et la radio-activité induite. —

Mais ce n'est pas encore tout. Le radium émet quelque chose de plus que de la lumière et une triade de rayons invisibles ; il possède deux propriétés plus étonnantes encore : l'*émanation* et l'*activation*.

Lorsqu'on abandonne quelque temps un corps solide quelconque dans le voisinage du radium ce corps devient radio-actif : il acquiert toutes les propriétés du radium. Il brille, il est capable d'actions physiques et chimiques, il émet comme le radium des rayons pénétrants. Mais ce pouvoir va en s'affaiblissant dès qu'on éloigne le radium (M. CURIE). C'est là ce qu'on appelle un phénomène de *radio-activité induite* ou d'*activation*.

A quoi est dû ce phénomène ? On peut supposer avec M. RUTHERFORD qu'il se dégage de tout sel de radium et d'une façon permanente une substance inconnue, qui agit à la manière des gaz et qui est elle-même radio-active pendant un temps assez long. Cette matière (mais est-ce bien « matière » qu'il faut dire ?) constitue l'*émanation*.

L'émanation est comme une sorte de parfum extrêmement subtil qui s'échapperait du radium sans lui faire perdre de poids.

Et ce qui semble indiquer qu'elle a au moins un substratum matériel c'est que, *contrairement aux rayons du radium* elle ne traverse pas les corps. On peut la conserver dans un flacon même à parois très minces. Mais au bout d'un certain temps l'émanation disparaît du réservoir scellé où on l'a mise. On ne comprend guère la disparition d'une substance matérielle fermée en vase clos. Cependant, on peut *distiller*

Émanation radique comme on distille un liquide. Il suffit pour cela de la faire arriver dans un vase très petit que l'on refroidit au moyen de l'air liquide (RUTHERFORD et SODDY).

L'émanation communique à de nombreux corps une belle phosphorescence. En se détruisant elle produit une petite quantité d'hélium. Ce résultat a une très grande importance, car on peut admettre que l'hélium a été créé par l'émanation du radium. Ce serait le premier exemple connu d'un cas de transmutation de corps simples. Ce résultat si surprenant semble confirmé par ce fait qu'on trouve toujours de l'hélium dans les minerais contenant du radium, de l'actinium, du polonium, de l'uranium, c'est-à-dire, des substances radio-actives.

Mais cette formation d'hélium peut servir à mettre sur la voie du radium. Certaines sources minérales renferment ce gaz ; on les trouve depuis radioactives : elles apportent donc avec elles l'émanation du radium des profondeurs du sol. Leurs propriétés thérapeutiques ne sont peut-être qu'une conséquence de leur radioactivité.

Rapports de l'émanation et de la radioactivité induite.

La présence de l'émanation est nécessaire pour que l'activation se produise. Toute enveloppe impénétrable pour les gaz arrête l'émanation et empêche par suite la radioactivité induite. Au contraire *tout corps* mis dans la même enceinte qu'un peu de radium devient temporairement radioactif.

MM. CURIE et DEBIERNE (198 bis) ont proposé pour

expliquer ces faits la théorie suivante. Chaque atome de radium fonctionne comme une source constante et continue, d'énergie « L'énergie radioactive qui s'accumule dans le radium tend à se dissiper de deux manières différentes : 1° par rayonnement) rayons chargés et non chargés d'électricité) : 2° par conduction, c'est-à-dire par transmission de proche en proche aux corps environnants, par l'intermédiaire des gaz et des liquides (dégagement d'émanation et transformation en radioactivité induite). La perte d'énergie radioactive croît avec la quantité d'énergie accumulée dans le corps radioactif. »

Hypothèses sur la cause des phénomènes de radioactivité.
— Dès l'apparition du radium, dès qu'on connut la radioactivité et l'invraisemblable propriété qu'ont quelques corps nouveaux de dégager de l'énergie *spontanément* et d'une *façon durable* sous forme de chaleur, de lumière, d'électricité, de rayons invisibles et d'émanation, on pensa ébranler les théories actuelles du monde physique. Les conceptions du mouvement perpétuel, de la transmutation, de l'émission furent de nouveau mises en avant. Le radium allait-il donc détruire en quelques jours le fruit de plusieurs siècles de travail et d'efforts ?

Les esprits superficiels s'y sont laissés prendre, mais ceux qui ont foi dans la science ont laissé passer l'orage. Ils savent qu'il y a certaines époques où des novateurs trop hardis cherchent avant tout à ruiner les anciens systèmes, sans savoir s'ils pourront seulement mettre quelque chose à la place. Maintenant

qu'un peu de calme s'est fait et que les controverses sont moins ardentes, voyons les différents hypothésés sur les causes de la radioactivité.

A) On peut supposer que les corps radioactifs ont emmagasiné antérieurement leur énergie qui va en s'épuisant lentement. La radioactivité pourrait alors être assimilée à une phosphorescence de très longue durée.

B) On peut imaginer avec Mme CURIE « que tout l'espace est constamment traversé par des rayons analogues aux rayons X, mais beaucoup plus pénétrants, et ne pouvant être absorbés que par certains éléments comme l'uranium, le thorium, le radium, éléments dont le poids atomique est considérable. L'énergie serait ainsi empruntée à un rayonnement cosmique ou solaire et les corps actifs la transformeraient absolument comme le verre transforme les rayons cathodiques en rayons X. » (BERGET, 188, p. 75)

C) On peut penser aussi que le dégagement de l'énergie radioactive est du à une transformation atomique du radium. Le radium serait ainsi un élément en voie d'évolution. La transformation des atomes pourrait se faire spontanément et le phénomène serait une sorte d'évaporation ou de pulvérisation lente comparable à l'émission d'odeur par le musc qui ne perd pas sensiblement de son poids même au bout de plusieurs années. L'*émanation* radique serait alors l'analogue d'un gaz transportant une odeur.

Ainsi l'atome du radium se désagrégeant lentement donnerait en partie de la matière inerte, en partie des

particules extrêmement petites; source des divers rayonnements.

Cette hypothèse a pour elle le dégagement continu de chaleur par les sels de radium et contre elle ce fait qu'aucune variation du poids du radium n'a pu encore être constatée avec certitude.

D) Enfin, une des hypothèses les plus grandioses et certainement la plus originale est celle que M. FILIPPO RE a exposée devant l'Académie des Sciences (221).

Elle est l'inverse de la précédente. Tous les atomes matériels seraient, suivant l'auteur, de petits systèmes planétaires. Leurs éléments obéiraient aux lois de la gravitation universelle qui régissent les astres.

Pour former ces groupements, l'énergie créatrice mise en jeu à l'origine a dû être énorme, puisque malgré les procédés les plus perfectionnés et les plus puissants nous n'avons pu encore détruire aucun de ces systèmes. Mais, comme dans le monde des astres, certains centres de gravitation seraient éteints et se borneraient à retenir dans leur voisinage les particules constitutives de l'atome : ce seraient le cuivre, le plomb, le fer, le zinc, l'argent, l'or, etc.

D'autres, au contraire, les atomes des corps radio-actifs, seraient des *soleils en pleine activité* se condensant lentement et progressivement avec mise en liberté d'énergie. Le radium, le thorium, l'uranium, le polonium et peut-être quelques autres corps inconnus seraient ainsi, pendant une période peut-être très longue, la source d'un rayonnement aussi inexplicable que celui de notre Soleil.

Cette fort belle conception est comme les précédentes une pure hypothèse ; mais, comme le dit M. BERGET « elle présente l'intérêt magistral qui s'attache aux tentatives que l'esprit humain peut et doit faire pour ramener à une loi unique l'atome, monde infiniment petit, et l'univers, monde infiniment grand » (188, p. 77).

CHAPITRE VI

Les rayons N

Après les rayons X et les rayons du radium, voici maintenant une nouvelle espèce de radiations, découverte il y a quelques mois seulement: les rayons N. Par malheur, il n'a pas été jusqu'à présent possible de les mettre en évidence d'une façon aussi caractéristique et aussi indiscutable que les précédents. Aussi de bons esprits et même des savants de marque, découragés par des tentatives infructueuses, affectent-ils un véritable scepticisme.

Je ne prendrai pas parti dans la discussion, car je sais par expérience combien sont délicates de pareilles observations. Je me bornerai à mentionner un extrait d'un intéressant article du Professeur GRÁTZ, paru dans « Münchener Medizinische Wochenschrift (259) » et les observations de M. LE ROUX sur les effets « *dits des rayons N* ».

Le premier, après avoir rappelé que dans un Congrès scientifique, à Cassel, on avait reconnu qu'aucun physicien allemand n'avait confirmé les observations de MM. Blondlot et Charpentier ajoute : « De ma propre expérience, je puis alléguer que pendant quatorze jours, à l'occasion des fêtes de Noël, j'ai cherché de toutes les façons possibles à renouveler leurs observations ; mais si je ne veux pas me mentir à moi-même, je dois dire hautement que de telles clartés qui émanent des corps à peine lumineux sont un phénomène si incertain qu'elles ne peuvent pas être admises, même un instant. En somme, je n'ai pu me persuader de l'existence des rayons N...

« Il y a plus. Aussi longtemps que les études des chercheurs de Nancy n'auront pas été poussées à un point tel que leurs résultats, quoique subjectifs, puissent être retrouvés par chaque observateur, il y aura lieu de ne pas faire rentrer leurs découvertes dans le trésor des connaissances scientifiques (1) ».

Le second, dans une communication récente à l'Académie des Sciences (270) s'exprime ainsi : « En répétant certaines expériences relatives aux effets *dits des rayons N*, j'ai été amené à reconnaître que dans des cas déterminés la contemplation d'une surface douée d'une illumination sensiblement constante peut la faire apparaître comme douée d'une illumination variable sans qu'on puisse invoquer d'autre cause de

(1) Nous adressons nos plus sincères remerciements à M^{re} Glückberg, qui a bien voulu faire pour nous la traduction fidèle de ce passage. Nous n'avons pas voulu citer la nôtre pour plus d'impartialité.

cette apparence que le fonctionnement même de l'organe et de ses annexes qui sont ici les parties du cerveau affectées aux perceptions visuelles. Ce sont donc des phénomènes purement subjectifs ; leur étude intéresse la théorie des perceptions visuelles et, au point de vue pratique, elle doit mettre les observateurs en garde contre des interprétations erronées... »

Cependant il y a certainement quelque chose de fondé dans la découverte des rayons N, puisque M. BLONDIOT, qui les a signalés pour la première fois, a pu en mesurer l'indice de réfraction et même rectifier à leur sujet l'erreur qu'il avait commise tout d'abord en les plaçant dans l'infra-rouge. Il a démontré depuis, en effet, qu'ils sont situés à l'extrémité tout opposée du spectre, dans l'*ultra-violet*.

Nous allons résumer rapidement ce qu'on sait à leur sujet, mais nous nous bornerons exclusivement aux *sources physiques* qui peuvent les produire. Nous laisserons de côté les rayons N qui seraient émis par le corps humain (CHARPENTIER), comme nous avons omis les sources organiques de radiations lumineuses (microbes, animalcules, insectes et animaux lumineux).

C'est à M. BLONDIOT, de l'Université de Nancy, que l'on doit la découverte des rayons N. Il a résumé ses premières recherches dans neuf notes à l'Académie des Sciences du 23 mars au 9 décembre 1903.

Nous diviserons notre étude physique en trois parties : *sources* de rayons N, *réactifs* et *instruments* pour les observer, *propriétés* de ces rayons.

N, le nom des radiations nouvelles, n'est pas autre

chose que l'initiale du mot Nancy, ville où a été faite la découverte. Mais il serait meilleur, comme l'a fait justement remarquer M. H. BORDIER, de leur donner le nom de *rayons de Blondlot*.

Sources de rayons N. — Elles sont aussi nombreuses que variées.

α) C'est en premier lieu le tube de Crookes dans l'émission duquel on a constaté tout d'abord les nouveaux rayons. Si l'on entoure le tube d'une enveloppe d'aluminium on remarque qu'outre les rayons X il y a émission de radiations capables de se réfléchir, de se réfracter, de se polariser : ce sont les rayons N. (233).

β) Le manchon en terres rares du bec Auer donne des rayons N assez abondants. Pour les séparer de la lumière on enferme le bec dans une lanterne d'aluminium. C'est de la même façon qu'on opère avec la lampe Nernst qui pour une dépense de 200 watts est peut-être la plus puissante source artificielle de rayons N. (234).

γ) Les corps dont l'équilibre moléculaire a été déformé ou qui sont en état d'*équilibre moléculaire contraint* émettent des rayons N. Ainsi chauffe-t-on une lame d'argent, une feuille de tôle au rouge sombre, elles produisent les nouvelles radiations. Il en est de même du bois, du verre, du caoutchouc comprimés ou étirés. L'acier trempé (limes, lames de couteaux, même de couteaux mérovingiens), le verre brusquement trempé (larmes bataviques) se comportent d'une façon identique. (241).

δ) Les vibrations sonores, le son d'un diapason, d'un timbre de bronze, d'une sirène, donnent des rayons N. (MACÉ DE LÉPINAY, 270).

ε) Un courant électrique, même celui d'une pile Leclanché circulant à travers un fil, s'accompagne d'une production de rayons de Blondlot (JÉGOU, 265).

ζ) Les tubes de Natterer contenant des gaz liquéfiés, CO^2 , SO^2 par exemple, donnent les nouveaux rayons mais seulement à partir du niveau où le liquide se sépare du gaz (BICHAT, 232).

η) Tous ou presque tous les phénomènes chimiques sont accompagnés de rayons N. On en trouve jusque dans le liquide excitateur des piles Leclanché (JÉGOU, loc. cit.). On les voit se produire pendant les phénomènes osmotiques (LAMBERT, 267) et au cours des phénomènes de dissolution (BICHAT). (1).

θ) Le soleil est la source naturelle la plus riche en rayons N. Ces rayons traversent un volet épais en bois de chêne fermant une chambre noire. Et comme on a remarqué que certaines substances emmagasinent des rayons N pour les émettre ensuite (quartz, spath, brique, sable), on n'a qu'à exposer une brique au soleil pour avoir là une source puissante et commode de radiations de Blondlot.

Réactifs et instruments pour l'étude des rayons N. —

A) Le premier réactif qui a servi à M. BLONDLOT est

(1) M. H. BORDIER a signalé récemment (249) que les charbons d'une lampe à arc émettent des rayons N. Le charbon négatif est à ce point de vue le plus actif. La cendre tombant des charbons emmagasine les rayons N et devient ainsi une source induite.

une très petite étincelle d'induction jaillissant entre les deux boules d'un excitateur. La luminosité de cette étincelle augmente lorsque l'éclateur se trouve dans le champ d'irradiation.

B) Une petite flamme bleue de gaz devient plus brillante sous l'action de ces rayons. Pour l'étincelle, comme pour la flamme, il est préférable d'observer les variations d'intensité lumineuse sur un verre dépoli placé à quelques millimètres de la source observée.

C) Une petite lame de platine de 0 mill. 1 d'épaisseur portée au rouge sombre par un courant électrique d'intensité connue devient plus brillante sous l'influence des rayons N.

M. BLONDLOT ne tarda pas à proposer des réactifs plus pratiques. Il montra qu'on pouvait employer indifféremment :

D) Une bande de papier éclairée par la réflexion de la lumière émanant d'une source éloignée (BLONDLOT, **238**). Sous l'influence des rayons N sa luminosité s'accroît.

E) Une substance phosphorescente légèrement insolée auparavant et par conséquent un peu lumineuse, ou une substance fluorescente rendue lumineuse, au moment de l'observation, par les rayons du radium (CHARPENTIER, **251 bis**).

L'éclat des deux réactifs est augmenté par les rayons de Blondlot. Mais le phénomène n'est pas instantané ; il se manifeste peu à peu.

F) Les phénomènes lumineux organiques. Les cultures de bacilles lumineux sur lesquels M. le professeur

RAPH. DUBOIS a fait de si intéressants travaux, les foyers lumineux abdominaux du lampyre noctiluque (ver luisant) brillent d'une plus vive lumière dans un champ de rayons N.

Pour observer les rayons N, le réactif le plus pratique est le sulfure de calcium (Ca S) à phosphorescence violette.

On en délaie une certaine quantité dans du collodion bien fluide, puis on étend une petite couche du mélange sur un carton noir de façon à former une tache de 2 centimètres de largeur en moyenne et d'épaisseur très faible. On insole légèrement cet écran, puis on se place dans l'obscurité et on regarde *légèrement à côté* de l'écran pour mieux juger des variations d'éclat (CHARPENTIER).

M. BLONDLOT place l'écran à l'extrémité d'un tube de plomb dans lequel il regarde, ce qui permet l'observation en plein jour.

M. H. BORDIER a proposé successivement deux instruments. Le premier, le « Blondlotscope » est une petite boîte circulaire en carton de 1 centimètre à peine d'épaisseur (une boîte à pilules tout simplement). On découpe dans le fond une ouverture circulaire de la grandeur d'une pièce de 1 franc et dans le couvercle une ouverture rectangulaire de 10 millimètre sur 20 millimètres. On ferme l'ouverture circulaire par un écran à Ca S préparé comme plus haut et on colle sur l'ouverture du couvercle une feuille mince de papier mousseline. On observe alors les variations d'éclat de l'écran sur la petite feuille de papier. Le procédé est bien meilleur que l'observation directe (248).

Le second appareil de M. H. BORDIER se compose de deux tubes en laiton pouvant coulisser l'un dans l'autre comme ceux du phakomètre de Badal. Le tube intérieur est fermé à son extrémité interne par un écran en verre dépoli, le tube extérieur porte à son extrémité libre un écran de papier dont la face recouverte de Ca S regarde le verre dépoli (248).

« Lorsqu'on a insolé le sulfure, il suffit de faire glisser les deux tubes l'un dans l'autre pour constater, en appliquant l'œil à l'extrémité libre du tube mobile, que l'éclat du verre dépoli est d'autant plus faible que le tirage du tube est plus grand.

« Cet éclat, qui provient des rayons lumineux émis par le sulfure, varie en raison inverse du carré de la distance du verre dépoli à la surface phosphorescente. On peut donc, quel que soit le degré de phosphorescence du sulfure de calcium, donner au verre dépoli un éclat aussi faible que l'on voudra. Supposons le tube mobile assez tiré pour que l'écran soit à peine visible pour un observateur qui applique l'œil à l'extrémité ouverte de l'appareil ; si l'on vient alors à placer la surface portant le sulfure dans un champ de rayons N, on constate facilement que le verre dépoli devient plus éclairé par suite d'une augmentation de la phosphorescence du sulfure...

« Avec ce dispositif, il n'y a plus à craindre de trop insoler le sulfure, puisque l'on donne à l'écran de verre telle luminosité que l'on veut, par un tirage convenable (BORDIER, 248, p. 483).

Récemment, M. A. BROCA (250) a préconisé un dispositif qui donne, paraît-il, de très bons résultats. A

l'extrémité d'un tube métallique de 6-8 centimètres de long, on place un petit bouchon en bois dur bien homogène et de 1 à 2^{mm} d'épaisseur. Sur la face qui doit être à l'intérieur du tube on trace, avec une petite lime d'horloger, 4 traits parallèles deux à deux se coupant à angle aigu de façon à représenter un dièze. Dans ces traits on met un peu de collodion, puis on les saupoudre de sulfure de calcium. Si l'on place dans le tube l'écran ainsi constitué, après l'avoir insolé, on distingue un dièze lumineux. Lorsque la lueur n'est plus suffisante pour saisir l'entrecroisement des lignes on place l'appareil dans un champ de rayons N. Les traits apparaissent alors, plus nettement « coupés », comme disent les photographes.

Une autre forme d'écran assez recommandée est celle de deux taches de CaS en forme de triangles à sommets très aigus opposés l'un à l'autre. Ils paraissent se rapprocher quand la luminescence augmente.

M. H. GUILLEMINOT (261 p. 378) conseille d'employer « un écran de papier noir de la consistance du bristol mince, portant parallèlement à un de ses bords 5 à 8 taches rondes de sulfure de la grosseur d'un pois. En les insolant, il est bon de ne pas les exposer le même nombre de secondes... On s'habitue ainsi à déterminer le degré de luminosité qui convient à notre œil. »

Enfin, la différence d'aspect d'un écran de CaS soumis aux rayons N suivant le degré d'obliquité par rapport à la source de ces rayons, a été utilisée par M. MACÉ DE LÉPINAY dans un *écran à contraste* (271). L'écran au sulfure est en deux parties. L'une est placée perpendiculairement à la ligne de visée, l'autre fort

obliquement. La longueur de cette dernière est telle, du reste, que sous l'incidence oblique on l'aperçoit avec une grandeur apparente égale à celle de l'autre écran. Dans un champ de rayons N, on voit la luminescence de l'écran normal augmenter pendant que baisse celle de l'écran oblique.

Il ressort de cette revue rapide des dispositifs destinés à montrer les rayons N que leur perception n'est pas très commode. Voici du reste l'avis de M. BLONDIOT lui-même : « L'aptitude à saisir de faibles variations d'intensité lumineuse varie beaucoup d'une personne à une autre : certaines personnes voient du premier coup et sans aucune difficulté le renforcement que les rayons N produisent dans l'éclat d'une petite source lumineuse ; pour d'autres, ces phénomènes sont presque à la limite de ce qu'elles peuvent distinguer et ce n'est qu'après un certain temps d'exercice qu'elles parviennent à les saisir couramment et à les observer en toute sûreté. La petitesse de ces effets et la délicatesse de leur observation ne doivent pas nous arrêter dans une étude qui nous met en possession de radiations restées jusqu'ici inconnues. J'ai constaté récemment que le bec Auer peut être remplacé avantageusement par la lampe Nernst, sans verre, qui donne des rayons N plus intenses : avec une lampe de 200 watts les phénomènes sont assez forts pour être, à ce que je crois, aisément visibles d'emblée par tous les yeux » (C. R., 1903, t. 137, p. 634).

Propriétés des rayons N. — En outre de celles que nous avons déjà signalées dans l'étude des différents

réactifs les rayons N présentent quelques propriétés remarquables.

1° les rayons N sont absorbés et par suite interceptés par des lames de

plomb de.....	0 ^{mm} 2
platine (à froid) de.....	0 ^{mm} 4
palladium	0 ^{mm} 5
nickel.....	0 ^{mm} 2
iridium.....	0 ^{mm} 1
sel gemme.....	3 ^{mm} 0

L'eau pure sous une faible épaisseur (papier à cigarette mouillé) les arrête également.

2° Les rayons N traversent au contraire l'aluminium, l'argent sous une épaisseur de 3^{mm}, le plomb en partie lorsque sa surface est bien pure d'oxyde, le platine chauffé au rouge, le papier, le verre, etc.

3° Les rayons N présentent les phénomènes de *polarisation* et de *diffraction*,

Il se *réfractent* à travers les prismes d'aluminium. En se servant d'un prisme dont l'angle réfringent est de 27° 45 M. BLONDLOT a pu mesurer l'indice de réfraction de ces rayons qui se composent de radiations inégalement réfrangibles. Au moyen de la méthode des franges et des anneaux de Newton il a trouvé les *longueurs d'ondes* suivantes :

Indices de réfraction des rayons	Longueurs d'onde en μ (microns)
1.04	0 μ 00815
1.49	0.0099
1.4	0.0117
1.68	0.0146
1.85	0.0176

Il résulte de-là que les rayons N viennent se placer dans la partie la plus réfrangible du spectre au-delà de l'ultra-violet.

4° Les rayons N peuvent être *conduits* par des fils de diverses substances. M. CHARPENTIER (253) a remarqué que les fils de cuivre et d'argent étaient ceux qui les conduisaient le mieux. Avec des fils de 10^m 50 de longueur il a obtenu encore des effets très sensibles. Les fils tordus ensemble se comportent comme des fils droits.

Mais les rayons N s'échappent du fil s'il est rugueux à sa surface, s'il est oxydé, s'il forme un coude brusque, ce qui a conduit M. BICHAT à rapprocher ce phénomène de la conduction de la lumière par les veines liquides (fontaines lumineuses).

5° M. BAGARD a pu enfin (227) montrer que les rayons N présentent à un degré plus accentué que la lumière le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique. La petitesse de leur longueur d'onde qui cause ce phénomène se trouve ainsi confirmée.

Les rayons N₁. — Jusqu'au mois de décembre 1903 on ne connaissait que des rayons N *augmentant* la phosphorescence de Ca S. Mais M. BLONDLOT en étudiant la réfraction des rayons N à travers un prisme d'aluminium de 60° d'angle s'aperçut que dans les parties très peu déviées du spectre existaient d'autres rayons ayant un effet absolument inverse. Ils *diminuaient* la phosphorescence.

Les rayons N₁ sont produits par la compression de certains échantillons de caoutchouc, de la glace vers

0 degré, de morceaux d'iodure d'argent. La flexion de lames de celluloïd et d'ivoire, permet de les obtenir. Le verre des tubes dans lesquels on a fait le vide en émet également.

Les rayons obtenus dans ce dernier cas sont très pénétrants. Ils traversent le plomb oxydé, l'eau pure. L'aluminium les emmagasine ; de même le verre ordinaire, le crown. l'eau salée. Leur indice de réfraction est compris entre 1,004 et 1,0125, leur longueur d'onde entre $0\mu,003$ et $0\mu,0074$.

Nous verrons, dans la partie physiologique, les effets de ces nouvelles radiations sur la matière vivante et sur l'homme. Il y a déjà sur ce sujet toute une littérature spéciale : une N-radiologie.

DEUXIÈME PARTIE

Appareils servant à l'application thérapeutique des radiations

Quoique la partie thérapeutique constitue une section bien nette de notre travail, nous pouvons, dès maintenant, indiquer qu'elle comprendra deux grandes méthodes de traitement par la lumière :

Photothérapie *négative* (aphotothérapie).

Photothérapie *positive* (photothérapie proprement dite).

La première ne nécessite aucun instrument spécial puisqu'elle consiste à soustraire le malade à l'action de tout rayon chimique.

La seconde réclame des instruments nombreux, différant suivant que l'agent actif doit être appliqué d'une façon *générale* ou *locale*. Ces instruments varient encore si les radiations sont les rayons X ou

les rayons du radium (*radiothérapie* et *radiumthérapie*).

Nous allons étudier successivement les appareils et la technique pour l'utilisation des diverses modalités de la lumière.

CHAPITRE VII

A). Photothérapie positive générale

En dehors des *bains de lumière solaire* qui ont été appliqués dans le Tyrol d'abord et plus récemment à Berlin, la thérapeutique s'est adressée à des *bains de lumière artificielle*. On en a fait une panacée presque universelle et on a attribué à tort à la lumière une action qu'il n'est due, la plupart du temps, qu'à la chaleur.

En effet tout le monde est d'accord aujourd'hui pour admettre que le principe actif de la lumière réside dans la *partie actinique* du spectre. Or, ceux qui prônent le bain de lumière, s'adressent presque tous à la lampe à incandescence, une source assez pauvre en rayons chimiques, infiniment plus faible en tous cas que le soleil ou la lampe à arc.

Malgré la campagne menée par STREBEL en Allemagne et par GUIMBAIL en France (51 bis), qui vantent la lampe à incandescence, la parole doit rester à FINSSEN,

dont l'autorité est indiscutable sur cette matière. « Le pouvoir bactéricide de la lumière, dit-il, sa faculté de produire une inflammation et une pigmentation de la peau, de même que son pouvoir excitant, appartiennent surtout aux rayons chimiques. Si l'on désire appliquer ces propriétés de la lumière en thérapeutique, on doit par conséquent employer une lumière qui contienne une quantité suffisante de ces rayons. Or, dans ces bains de lumière si souvent cités on emploie des lampes à incandescence, dont la lumière ne contient presque aucun rayon chimique, qui en contient beaucoup moins que la lumière du jour ordinaire. Et si l'on soutient que ces bains possèdent les propriétés de la lumière, on se trompe grandement. On ne peut admettre que ces bains aient d'autre action que celle de la chaleur rayonnante des lampes; ce sont ainsi simplement des bains d'étuve où la chaleur est produite par des lampes, au lieu de l'être par l'air chaud ou des vapeurs chaudes... Depuis un certain temps on a fait beaucoup de *charlatanisme* avec ces bains et l'on s'est servi pour cela de mes recherches sur l'action physiologique de la lumière, et de mon nom, d'une façon qui ne m'a pas été agréable. Aussi suis-je forcé de m'en expliquer. (LEREDDE et PAUTRIER 71, bis, p. 258.)

Nous laisserons donc de côté le *bain* KELLOG, le *bain* DOWSENG muni de la lampe du même nom.

Les appareils munis de lampes Nernst seraient bien supérieurs et fourniraient vraiment une forte proportion de rayons actiniques. Mais le dispositif vraiment scientifique est dû à FINSSEN.

Pour les *bains de lumière solaire*, les malades sont placés nus dans une cour où la température est maintenue assez basse par des arrosages fréquemment renouvelés. On élimine ainsi l'élément chaleur.

Pour les *bains de lumière électrique*, on dispose au centre d'une enceinte circulaire deux fortes lampes à arc de 100 ampères chacune, à deux mètres au-dessus du sol. Des cloisons disposées radicalement divisent l'enceinte en une série de loges dans chacune desquelles un malade vient se placer sur un lit incliné (1).

Ce mode de traitement n'est, du reste, applicable que dans un Institut où l'on peut traiter une série de malades à la fois. Il serait ruineux pour un ou deux sujets seulement à cause de l'énorme dépense d'énergie électrique.

FINSEN insiste sur le soin qu'il faut apporter à ces applications. Il existe en effet une susceptibilité particulière très prononcée pour les rayons chimiques. « Pour certaines personnes une courte exposition de 10 minutes provoque un érythème très accentué, tandis que chez d'autres on note à peine un peu de rougeur après deux heures d'exposition. »

B) — Photothérapie positive locale

Nous étudierons successivement les appareils qui permettent d'utiliser les rayons chimiques de la lumière solaire ou électrique, ceux qui utilisent exclu-

(1) Les lits sont inclinés, de telle sorte que la plupart des rayons tombent perpendiculairement sur le sujet qui s'y étend.

sivement des rayons actiniques et enfin ceux qui renforcent la production de radiations chimiques en introduisant dans l'arc voltaïque la vapeur de divers métaux.

a) *Utilisation de la lumière solaire et de la lumière de l'arc électrique jaillissant entre deux charbons* (1)

Appareils de Finsen. — Les deux appareils les plus anciens de cette catégorie sont ceux de FINSEN qui a été le créateur de la méthode.

L'appareil solaire, se compose d'une grande lentille creuse de 20 à 40 centimètres de diamètre portée sur un pied de bronze et mobile dans tous les sens. On remplit l'intérieur de la lentille d'une solution bleu clair de sulfate de cuivre ammoniacal destinée à absorber les rayons calorifiques. Les rayons solaires tombant sur la lentille sont concentrés et peuvent être, vu la mobilité de l'appareil, appliqués en un point quelconque des régions à traiter. Les applications durent une heure et quart.

L'appareil électrique, se compose d'une lampe à arc de 60 à 80 ampères alimentée par du courant continu au potentiel de 40 à 45 volts. Le charbon positif, qui a le plus fort calibre, se trouve en haut. Les rayons sont donc projetés en bas et en dehors. Autour de l'arc est un cercle de fer de 80 centimètres de diamètre environ qui supporte quatre tubes en

(1) Dans cette partie et dans les parties B et C de ce chapitre, nous avons mis spécialement à contribution les excellents traités de Photothérapie et de Photobiologie de MM. des D^{rs} Leredde et Pautrier, Chatin et Carle, et l'intéressante thèse du D^r Abadie.

cuivre munis de lentilles de quartz laissant passer la totalité des rayons actiniques. Les lentilles les plus voisines de l'arc reçoivent les rayons lumineux et les rendent parallèles ; celles qui sont situées à l'extrémité opposée du tube font converger les rayons sur la surface à traiter.

Pour éliminer les rayons calorifiques, on remplit l'espace qui sépare les deux lentilles convergentes avec une solution de sulfate de cuivre ammoniacal.

De plus, pour chasser le sang des parties traitées et pour favoriser ainsi l'action profonde des rayons, on ischémie la peau sur le point à traiter au moyen d'un *compresseur*. Ce petit appareil, dont le rôle est extrêmement important, se compose de deux lentilles en cristal de roche entre lesquelles circule un courant d'eau rapide. On fixe l'appareil sur la peau au moyen de liens élastiques. La séance dure une heure environ.

*
* *

Appareil de Lortet et Genoud. — L'appareil de Finsen dépense beaucoup d'électricité et l'arc est fort éloigné des tissus à traiter. Au retour d'un voyage en Danemark M. le professeur LORTET de Lyon et le docteur GENOUD cherchèrent à remédier à ces inconvénients en utilisant mieux l'action de l'arc électrique.

Leur appareil, tout à fait simple, et qui a donné, au dire des docteurs LEREDDE et PAUTRIER eux-mêmes, de remarquables résultats dans les hôpitaux de Paris fonctionne sous un courant de 10 à 20 ampères sous

90 à 110 volts. Le charbon positif est en haut, il a 0^m,012 de diamètre et possède une âme centrale; le négatif est en bas : il est homogène et a 0^m,008 de diamètre. Ces deux charbons (1) sont inclinés l'un sur l'autre formant un angle de 125 à 130° et le charbon négatif est placé un peu en avant du positif. Lorsque l'arc jaillit entre eux, le cratère positif se trouve placé ainsi juste en face de la région à traiter.

Devant le foyer lumineux est une cuvette allongée en métal, à double paroi, dans laquelle circule de l'eau courante et qui porte un orifice central pour le passage des rayons lumineux. Ce dispositif soustrait le patient aux radiations calorifiques de l'arc et permet de recueillir les rayons actifs très près de la source.

Un compresseur à double lentille de quartz, comme celui de Finsen, vient se fixer par deux ailettes en avant de la cuvette réfrigérante. Un courant d'eau froide le traverse.

Le malade, assis pendant la durée des séances, appuie lui-même la partie à traiter contre le compresseur.

Cet appareil, (2) avec un ampérage 4 à 5 fois plus faible que celui de Finsen, permet d'obtenir les mêmes résultats. Mais on en a tort de dire que les séances devaient être d'une dizaine de minutes seulement. Pour obtenir de bons résultats il faut des applications d'au moins 20 à 50 minutes et de la part du médecin une surveil-

(1) Les charbons qui ont donné les meilleurs résultats sont ceux de la maison Siemens et Halske de Charlottenburg près Berlin.

(2) Nous remercions bien sincèrement M. le docteur GENOUD qui a bien voulu mettre à notre disposition le beau cliché de la page 155.

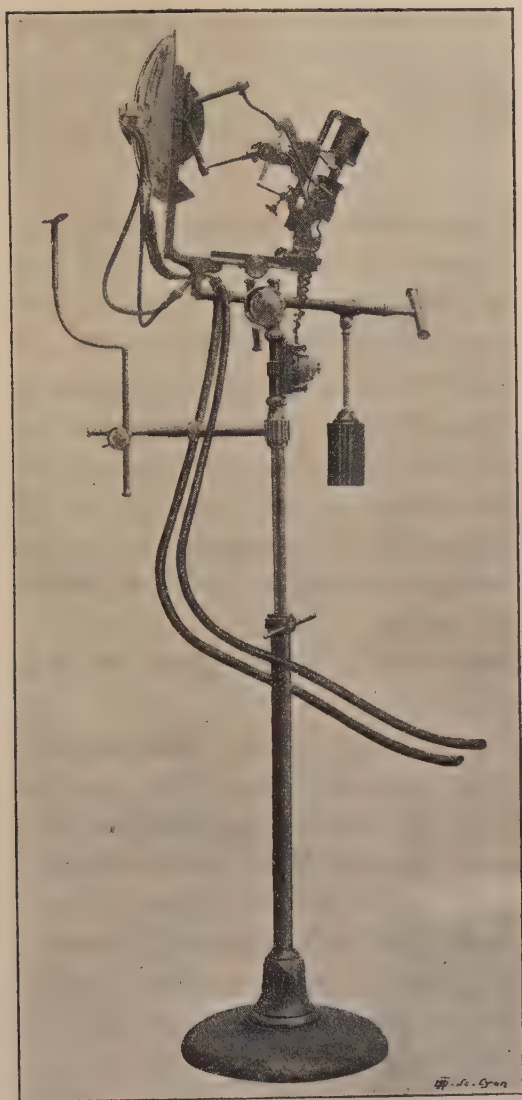


Fig. 4. — Appareil photothérapique Lortet-Genoud pour courant alternatif.

lance de tous les instants afin de s'assurer que la compression de la zone traitée est toujours suffisante.

*
* *

Appareil du Dr Schall. — Les deux appareils précédents ne fonctionnent que sur courant continu. Le docteur SCHALL, de Chambéry, a cherché à utiliser le courant alternatif que tendent à distribuer de plus en plus les stations centrales d'électricité. Mais comme avec cette forme de l'énergie électrique les deux charbons s'usent d'une façon égale et s'allongent en pointe, la lumière de l'arc est diffusée de tous côtés. Il faut donc chercher un dispositif pour concentrer les rayons, ce que faisait tout naturellement le cratère négatif dans le cas du courant continu.

Le docteur SCHALL y est arrivé de la façon suivante (99) :

Les deux charbons à lumière sont engagés dans un disque en terre de pipe à laquelle on a, avant le moulage, mélangé de l'oxyde de magnésium. Une des faces du disque est creusée d'une cavité cylindrique. Au fond de cette cavité se trouvent les deux extrémités des charbons que deux ressorts à boudin pressent contre une saillie du bloc réfractaire qui s'oppose à leur contact. Un intervalle à peu près fixe sépare ainsi les deux charbons, ce qui est nécessaire pour la production de l'arc.

On met l'appareil en marche en intercalant entre les pointes des charbons un troisième charbon que l'on

retire ensuite lentement. Cette lampe peut fonctionner spécialement sur courant alternatif et consomme alors 8 à 10 ampères sous 50 à 60 volts, mais on peut aussi l'alimenter *directement* par du courant continu à 110 volts.

Pour augmenter la puissance actinique de son appareil, le docteur SCHALL conseille d'imprégner les charbons d'une solution de chlorure de zinc et de magnésium.

Malgré les avantages que lui trouve son inventeur, bon marché, simplicité de mécanisme, possibilité de marcher avec un courant alternatif ou continu, maximum de rendement puisque la transformation de l'électricité en lumière est complète, enfin activité photochimique augmentée par les vapeurs de zinc et de magnésium, cet appareil est retombé dans l'oubli comme la lampe Soleil dont il était une résurrection. La cause en est peut-être dans une réfrigération insuffisante de la lampe dont la température va croissant à mesure que le courant passe. Elle doit de ce fait être très difficilement maniable au bout de peu de temps.

*
* *

Appareil Foveau de Courmelles et Trouvé. — Ces deux inventeurs avaient imaginé d'abord un appareil utilisant une lampe à incandescence. Mais convaincus par l'expérience de sa pauvreté en rayons chimiques ils l'ont remplacé par un arc voltaïque de faible intensité (15 ampères sous 110 volts). Un miroir parabolique,

refroidi par une circulation d'eau très ingénieuse, est placé derrière l'arc et sert de réflecteur. Sur le pourtour du miroir vient se fixer un tronc de cône dont la grande base et la petite base portent des lames de quartz entre lesquelles on fait passer de l'eau ou une solution colorée. Le quartz de la petite base sert de compresseur et tout l'appareil s'applique ainsi sur la peau.

Les charbons de la lampe à arc sont montés sur des manches spéciaux qui permettent de régler leur écartement.

*
* *

Appareil Finsen-Reyn. — Il ressemble à l'appareil Lortet-Genoud, mais l'intensité du courant employé est plus grande et n'est jamais inférieure à 20 ampères. De plus, il est muni du concentrateur de lumière Finsen qui se place devant la lampe à arc.

Cet appareil donne des résultats sensiblement supérieurs à celui de Lortet-Genoud avec une dépense moindre que dans le grand appareil de Finsen.

Mais FINSEN a soin d'ajouter que les séances doivent être longues et l'ampérage aussi élevé qu'il l'indique. On a eu grand tort de vouloir réduire la durée des unes et l'intensité de l'autre.

*
* *

Appareil Ang. Bellini. — Le docteur BELLINI, directeur de l'Institut de Photothérapie et d'Electrothérapie de

Milan, a imaginé en 1901 un appareil photothérapique d'une très grande simplicité (17). Il se compose de deux charbons inclinés à 130° l'un sur l'autre, le positif étant en haut. A 2 ou 3 centimètres en avant de l'arc qui jaillit entre eux, se trouve la partie dioptrique de l'appareil qui sert à la fois à recueillir, à concentrer les rayons, à refroidir la peau et à la comprimer.

L'appareil ne nécessite pas de compresseur distinct, la partie dioptrique de l'appareil est formée en effet d'une lentille en quartz voisine de l'arc et *fixe* et d'une deuxième lentille également en quartz *que l'on visse* à l'avant de la cuvette réfrigérante. Un courant d'eau circule entre les deux lentilles. La lentille mobile peut être remplacée par une série d'autres de grandeur différente.

L'instrument est suspendu au plafond de la chambre où l'on opère par une canne métallique à coulisse, mobile dans toutes les directions. Lorsqu'on veut faire une application, on donne à la canne-support une position très oblique par rapport à la perpendiculaire. Le poids de l'appareil applique donc fortement la lentille de quartz sur la région à traiter et cela d'une façon constante, que les tissus soient mous ou reposent sur un plan résistant.

Le courant qui alimente la lampe doit être de 15 ampères sous 50 à 60 volts.

Cet appareil, original par plusieurs points, donne de bons résultats entre les mains de son inventeur.



Appareil de Marie (de Toulouse). — Très sérieusement étudié, cet appareil a été imaginé pour utiliser l'effet maximum de l'arc électrique. Les charbons ne sont pas inclinés à 45° l'un sur l'autre mais à 90°. Ils ne sont plus situés dans un plan vertical mais dans un plan horizontal. Le charbon positif est plus gros que le négatif et situé en arrière de lui.

L'arc jaillit entre les deux charbons, à quelque distance d'une petite cuvette réfrigérante rectangulaire qui porte, tout comme dans l'appareil du docteur Bellini, deux lentilles de quartz, une *fixe* tournée vers l'arc, l'autre *mobile* et facilement interchangeable avec d'autres de diamètre différent, tournée vers la partie à traiter.

Comme dans l'appareil Bellini, l'ensemble est suspendu (il était supporté par un pied vertical dans le Lorlet-Genoud et le Finsen-Reyn), mais la compression n'est pas automatique. Elle dépend du médecin. A l'appareil, en effet, est adjoint un coussin sur lequel vient reposer la tête du patient. On applique l'appareil sur la partie malade, puis on comprime graduellement les tissus au moyen de bandes élastiques qui tendent à rapprocher l'appareil du coussin. Le sujet se trouve donc entre l'appareil et le coussin comme le doigt entre l'enclume et le marteau.

L'appareil fonctionne avec 10-20 ampères. Les char-

bons sont réglables à la main. Il existe un modèle pour le courant alternatif.

Le tube d'arrivée de l'eau dans la cuvette réfrigérante est disposé de telle sorte que la cuvette est toujours pleine d'eau, même si l'on avait oublié d'ouvrir le robinet d'arrivée.

L'ensemble de l'appareil est suspendu à une chaîne métallique, munie d'un contre-poids, qui permet de l'amener juste au niveau désiré. Un ampèremètre et un rhéostat sont fournis avec l'instrument.

Les séances doivent être d'une heure et le courant électrique assez fort pour donner au malade une légère sensation de chaleur.

Nous renvoyons, pour plus de détails sur cet ingénieux appareil, aux Archives d'Electricité médicale (76, 77, 78) qui en ont publié une étude très sérieuse et très complète.

*
* *

b) Emploi exclusif des rayons chimiques

Lumière électrique sans chaleur (Tesla). — « Malgré la supériorité de leur rendement lumineux (mesuré par le rapport de l'énergie des radiations lumineuses à l'énergie des radiations totales), les lampes à arc perdent en radiations calorifiques obscures les 9/10 de l'énergie électrique qui leur est fournie. Suivant une heureuse comparaison, on se trouve dans la situation d'un organiste qui, pour arriver à tirer quelques notes

aiguës de son clavier, devrait souffler dans tous les tuyaux. En d'autres termes, pour produire les radiations dont le nombre de vibrations dépasse 400 trillions par seconde, on est obligé de produire en même temps toutes les vibrations plus lentes qui absorbent la plus grande partie de l'énergie. Peut-on éviter la production de ces radiations calorifiques parasites ? Cela n'est pas douteux. Il en est ainsi pour les phénomènes de fluorescence et de phosphorescence, pour les décharges électriques dans les gaz raréfiés. Ces décharges provoquent un bombardement moléculaire dont l'effet est de rendre lumineuses les molécules contenues dans les tubes et les parois de ceux-ci. Comme les oscillations électriques s'amortissent rapidement, il faut répéter l'action motrice le plus souvent possible.

M. TESLA y est arrivé tout simplement en employant les courants de haute fréquence et de haute tension. Sous leur influence, un long tube de verre, dans lequel on a fait le vide, s'illumine brillamment, soit au contact, soit à distance, lorsqu'on le promène dans le champ électrique oscillant. Comme les gaz n'ont qu'un pouvoir émissif faible, M. TESLA utilise aussi les substances solides.

La lampe Tesla est formée d'un long tube de verre de 5 à 6 mètres de long et contourné en spirale. Les bouts du tube sont coiffés de calottes métalliques comme les ampoules à radiographie, et portent des crochets de suspension. On obtient ainsi une lumière douce, équivalant à 50 bougies pour chaque lampe, sans dégagement de chaleur. Il semble que cette

lumière sans chaleur mériterait d'être essayée dans certains cas » (MARIE, 75).

*
* *

Emploi de la machine statique, par le Dr Leduc, comme source de rayons chimiques. — Toujours dans le même ordre d'idées, on peut citer le dispositif du docteur LEDUC, de Nantes, qui utilise la machine électro-statique, comme n'émettant que des rayons utiles, c'est-à-dire violets et ultra-violets.

Nous avons vu déjà qu'une pointe reliée à l'un des pôles d'une machine statique est le siège d'une aigrette. Les rayons non éclairants qui accompagnent cette aigrette, rayons ultra-violets, exercent à distance une action photographique qui permet de les étudier. Le pôle négatif a un rayonnement plus intense que le positif (LEDUC, 69). On peut concentrer ces rayons invisibles comme les rayons visibles avec des lentilles ou des miroirs.

Mais, comme l'anémie préalable des tissus est une condition essentielle de la pénétration des rayons chimiques à une grande profondeur, le docteur LEDUC a imaginé un appareil dans lequel les rayons violets et ultra-violets sont produits aussi près que possible de la peau comprimée par une lame de quartz (70). L'instrument se compose d'une électrode plate circulaire formée d'une lame diélectrique D' repliée sur elle-même et percée d'une ouverture circulaire dans laquelle est enchassé un quartz Q'. Une lame d'alumi-

nium M et une sphère métallique S forment les deux armatures d'un condensateur dont le diélectrique est une lame D. Si l'on vient à réunir la sphère à l'armature externe d'une bouteille de Leyde B dont la charge électrique est entretenue par une forte bobine d'induction ou par une machine statique, on a une production

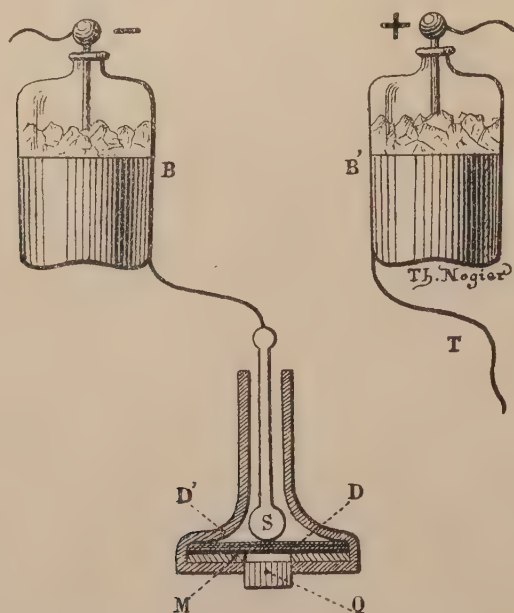


Fig. 5. — Dispositif de Leduc pour l'utilisation des rayons chimiques.

intense de rayons chimiques au niveau du quartz. Le pôle + de la bobine ou de la machine est relié à l'armature interne d'une seconde bouteille de Leyde dont l'armature externe communique avec le sol T.

Le docteur LEDUC pense que « l'effluve électrique est la source de rayons chimiques la plus pure, la plus économique, la plus intense et la plus pratique ».

STREBEL a proposé de se servir, comme source de rayons violets et ultra-violets, de l'étincelle fournie par les puissantes bobines d'induction. Son dispositif est assez compliqué (108).

Au point de vue théorique et scientifique ces tentatives sont intéressantes et « il est du plus haut intérêt de constater la production de rayons chimiques par des sources aussi différentes des sources lumineuses que le sont la machine électro-statique et la bobine d'induction, qui d'autre part peuvent engendrer des rayons de plus courte longueur d'onde (rayons de Röntgen) dans l'ampoule de Crookes ». (LEREDDE et PAUTRIER 71 bis, p. 149).

Mais au point de vue pratique il est à remarquer que personne n'a signalé de résultats obtenus avec les dispositifs de Leduc et de Strebel.

*
* *

(c) *Renforcement de l'action chimique de l'arc voltaïque*

Pendant que les médecins-électriciens cherchaient à tirer parti de leurs instruments pour la production de radiations de petite longueur d'onde, d'autres auteurs tâchaient d'arriver au même résultat en introduisant dans la flamme de l'arc des vapeurs métalliques. Nous avons vu (p. 47) combien la flamme du magnésium, du cadmium, du zinc et de l'aluminium est riche en rayons ultra-violets. STREBEL (107) avait eu l'idée de tirer parti des expériences de Mascart, Cornu et Soret en ajoutant aux charbons des oxydes de magnésium, d'alu-

minium, de zircone. Il avait aussi fait jaillir l'arc entre des électrodes d'aluminium.

RIGHI s'était servi, dans la même intention, d'une électrode positive en zinc et d'une électrode négative charbon.

Appareil de Bang. — Récemment, le docteur BANG, directeur du laboratoire de l'Institut Finsen, a fait construire, pour les applications photothérapiques, une lampe dont les électrodes sont en fer. Dans le petit modèle les électrodes sont creuses et énergiquement refroidies par un courant d'eau. Dans le grand modèle, les électrodes sont pleines et plongent dans un vase spécial rempli d'eau. L'arc jaillit au sein du liquide.

On peut appliquer sur la peau la lampe du petit modèle et l'approcher à 1 centimètre ou 1 cent. 1/2 du point à traiter.

Mais si cet appareil a complètement justifié les prévisions de son inventeur au point de vue de sa richesse en radiations de très courte longueur d'onde, il n'en a pas été de même au point de vue des résultats obtenus. Les radiations de très courte longueur d'onde sont rapidement transformées par les tissus et ont un faible pouvoir pénétrant. Elles n'ont d'effet que sur les affections superficielles ; c'est du reste l'avis de BANG lui-même et de FINSEN.

*
* *

Appareil de Broca et Chatin. — Le principe de cet appareil est le même que celui de BANG, mais tout

système de réfrigération est supprimé et le courant employé est beaucoup plus intense que dans la lampe de Bang. Les deux électrodes sont : un charbon négatif ordinaire et un charbon positif à âme métallique.

Malgré la puissance de l'arc et l'absence de réfrigération on peut maintenir facilement la peau à 0 m. 10 pendant un temps très long, sans échauffement désagréable.

L'ensemble de l'appareil radiant est enfermé dans un manchon métallique de 14 centimètres de diamètre et de 70 centimètres de hauteur destiné à protéger l'opérateur contre les érythèmes et les ophtalmies dangereuses qui peuvent résulter de l'action très intense des rayons chimiques, et à garantir les malades contre de petites projections incandescentes qui se produisent avec l'arc au fer.

Les recherches de BANG ayant montré que les rayons très réfrangibles sont peu absorbés par les tissus, le système de compression a été étudié avec le plus grand soin. « Il se compose (BROCA et CHATIN, 24) d'une calotte métallique que l'on place sur la tête du malade, ce qui donne un solide point d'appui. Elle est munie au fond d'un coussin pneumatique dont nous verrons le rôle tout à l'heure.

« Le bord de cette calotte porte une série de boutons qui permettent d'agrafer des bandes souples d'acier percées de trous, au moyen desquelles nous fixons le compresseur.

« Celui-ci comprend deux pièces, une garniture portant la lentille de quartz et deux tiges qui glissent librement dans des ouvertures pratiquées sur une

rondelle de métal, qui, elle, est solidaire des bandes d'acier ci-dessus décrites. Cette rondelle est traversée par trois vis qui prennent l'appui sur l'armature de la lentille.

» Pour exercer une compression en un point déterminé, on commence par placer le compresseur de quartz en ce point et à l'y fixer au moyen de bandellettes d'acier, sans s'occuper de donner ainsi une très forte pression. Une fois l'appareil assujetti, on gonfle le coussin pneumatique et on achève la compression avec les vis qui permettent d'imprimer au quartz la direction convenable et le serrage nécessaire pour rendre les tissus placés au-dessous absolument exsangues. »(314, p. 119).

Cet appareil utilisé à l'hôpital Saint-Louis, à Paris, dans le laboratoire d'électrothérapie de GASTOU, permet de traiter trois malades placés à 60° les uns des autres. Il est d'un usage commode et a donné de bons résultats dûs sans nul doute à la compression parfaite des tissus.

*
* *

Compresseurs. — Dans la revue rapide des instruments proposés pour le traitement photothérapique du lupus (que nous avons eu en vue plus particulièrement) nous avons dit quelques mots des *compresseurs*. Il ne faudrait pas croire que ce sont de simples accessoires de chaque appareil. Ils ont une importance capitale, puisque c'est d'eux que dépend l'ischémie des

tissus et par suite la *pénétration* des rayons chimiques, base de tout traitement efficace.

FINSEN l'avait imaginé composé de deux rondelles de cristal de roche maintenues par un anneau nickelé. A l'intérieur de la chambre ainsi formée circulait un courant d'eau. On serrait l'appareil sur la peau à l'aide de liens élastiques.

LORTET et GENOUD n'ont fait qu'ajouter au compresseur deux ailettes pour le fixer à l'appareil producteur de lumière. Il est circulaire et se fait en trois grandeurs suivant les parties à traiter. La lentille qui s'applique sur la peau a, dans le petit modèle, 12 millimètres de diamètre ; dans le modèle moyen, 20 millimètres et dans le grand, 30 millimètres.

LEREDDE et PAUTRIER se sont bien vite aperçus qu'il y a certaines régions (angle oculo-nasal, rebords narinaires, face interne des joues) pour lesquelles ces compresseurs ne peuvent servir. Ils ont imaginé deux nouveaux compresseurs : le *compresseur conique* qui porte un cône de quartz taillé perpendiculairement à l'axe optique du cristal afin d'éviter la double réfraction, et le *compresseur coudé*, de 8 centimètres de long, à l'extrémité duquel on visse à angle droit un petit cône de quartz. Dans l'un comme dans l'autre modèle les rayons se dégagent à l'extrémité du petit cône sans perte de lumière.

*
* *

Considérations générales sur l'emploi de l'arc électrique en photothérapie. — M. le professeur MARIE a publié sur

ce sujet un très intéressant travail dans les Archives d'Electricité médicale (75 bis). Il a montré que l'intensité du courant employé pour alimenter un arc ne donnait que des indications bien imparfaites sur sa valeur au point de vue photothérapique. La disposition des charbons, la distance de la partie traitée à la source lumineuse, le mode de compression sont d'autres facteurs bien plus importants.

L'*intensité* du courant ne peut faire varier la qualité des rayons émanés de l'arc. La physique nous apprend en effet que la température du cratère positif d'où proviennent la plupart des radiations est constante et égale à 3.600°, c'est-à-dire à la température de vaporisation du carbone (MOISSAN et VIOLETTE). Une intensité plus grande du courant ne pourra donc modifier la température et n'influera que sur la quantité de carbone vaporisé.

Mais comme à une température constante correspond une émission de radiations à longueur d'onde constante, on voit que le cratère positif enverra sensiblement le *même genre* de rayons *chimiques* pour 10 ampères comme pour 20. La quantité et l'intensité seules de la lumière varient avec le courant générateur.

MM. LORTET et GENOUD ont donc eu raison de montrer, les premiers, qu'on pouvait avec un ampérage réduit, 15 à 20 ampères, obtenir les mêmes résultats que Finsen avec son appareil primitif qui dépensait 80 ampères.

Cependant, pour obtenir de bons résultats avec des courants moindres, il faut réaliser le même rendement lumineux sur la partie à traiter.

Il faut pour cela :

1° Etudier avec soin la *forme* et la *disposition* des charbons pour recueillir, avec une intensité donnée, le maximum de lumière. — On obtient les meilleurs résultats avec des charbons faisant entre eux un certain angle et de préférence un angle droit. Il y a avantage à choisir le charbon négatif de faible diamètre. On le place en avant du charbon positif. Quand le courant passe, la pointe du charbon négatif s'amincit encore, de sorte qu'on est dans les meilleures conditions possibles pour recueillir la lumière projetée par le cratère positif (75 bis).

2° Réduire au minimum la *distance* de l'arc à la peau malade. — L'intensité chimique, comme l'intensité lumineuse, croît en effet en raison inverse du carré des distances.

3° *Comprimer* d'une façon aussi parfaite que possible les tissus à traiter. — Le sang, coloré en rouge, absorbant les radiations chimiques pour les transformer en rayons moins réfrangibles, il faut le chasser avec soin de tout endroit où l'on fait une application photothérapique. C'est pour avoir négligé cette loi *essentielle* que l'on n'a obtenu en France, surtout au début, que des résultats bien inférieurs à ceux de Finsen. Aussi, le professeur MARIE rejette-t-il tout procédé d'ischémie basé sur la bonne volonté du malade ou de l'opérateur, et lui préfère-t-il un système de compression progressive à l'aide de liens élastiques. On peut la pousser jusqu'à un chiffre de 2 à 5 kilogrammes pour une zone lupique, avec une lentille de quartz de 0^m,04 de diamètre.

Il faut, de plus, ne pas se contenter de séances de 20 à 30 minutes, mais faire des *séances d'une heure* comme n'a cessé de le recommander FINSSEN; ne *pas interrompre le traitement*, faire des applications quotidiennes et même biquotidiennes si l'étendue du mal l'exige. Ce n'est qu'en suivant rigoureusement ces prescriptions qu'on pourra obtenir des résultats décisifs et durables.

C. Radiothérapie

Nous venons de voir que parmi les rayons chimiques les uns sont plus pénétrants que d'autres et par suite plus actifs. En radiothérapie, quoiqu'il soit moins facile de définir les différentes sortes de rayons qui émanent d'un tube de Crookes, l'expérience a prouvé qu'il y en a de fort pénétrants et d'autres qui le sont très peu.

Tout dépend de l'état du tube. Si le courant nécessaire pour l'exciter n'a pas un potentiel très élevé, autrement dit si le milieu intérieur du tube est relativement conducteur du courant, on dit que le *tube est mou*. Les rayons qu'il émet dans ces conditions sont peu pénétrants; ils sont *mous*, pour employer une expression courante en radiologie. Mais si le vide est poussé très loin dans le tube, ou si le tube a servi pendant longtemps (ce qui augmente le vide à son intérieur), le courant qui l'actionne doit avoir un potentiel beaucoup plus élevé pour vaincre la résistance intérieure. Le *tube est dur*. Les rayons qu'il émet sont

alors des rayons *durs*, capables de traverser 6, 7, 8 millimètres d'aluminium.

Au chapitre des mesures en radiothérapie, nous verrons les divers moyens dont on dispose pour connaître à chaque instant l'état du tube, pour savoir s'il est mou, demi-mou, dur, très dur. Ici nous ne nous occuperons que du réglage de ces instruments, c'est-à-dire de la façon dont on peut faire varier le degré du vide à leur intérieur.

La production à volonté de rayons de nature différente est en effet *capitale* en radiothérapie. KIENBÖCK a montré que les rayons très peu pénétrants « très mous », sont presque entièrement absorbés par les couches superficielles des tissus sur lesquelles ils ont une action nocive. Les rayons très pénétrants au contraire, « très durs », ne sont qu'à peine absorbés par les tissus qu'ils traversent; ils n'exercent sur eux aucune action bonne ou mauvaise: ils sont *indifférents*.

Mais entre les deux extrêmes, il y a une catégorie de rayons moyennement pénétrants, capables de provoquer dans l'épaisseur du derme des réactions variées et puissantes. Ce sont là les rayons utilisés en thérapeutique.

Parmi les divers modèles de tubes capables de donner toute la gamme des radiations X, nous ne retiendrons que deux modèles: un modèle français: l'osmo-régulateur de P. VILLARD, et un modèle allemand, le tube de MÜLLER à régulateur électrique.

Osmo-régulateur de Villard. — A mesure qu'un tube fonctionne, les gaz se raréfient dans son intérieur et

le tube durcit. Le moyen de régler le tube, de le ramollir, est donc d'introduire des gaz dans son intérieur.

Mais la solution du problème présente de très sérieuses difficultés, car les pressions à réaliser sont des fractions de millièmes d'atmosphère et c'est une quantité très petite de gaz qu'il faut introduire dans le tube pour obtenir l'effet désiré.

On s'était servi, au début, d'une électrode auxiliaire

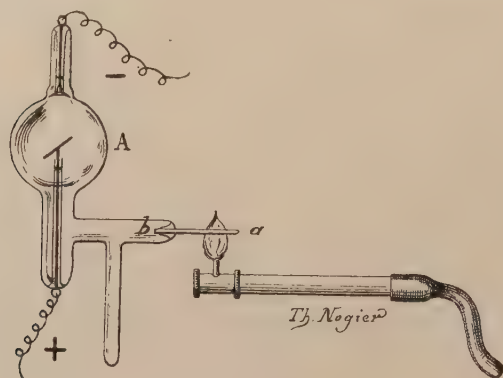


Fig. 6. — Tube osmo-régulateur de Villard.

au palladium que l'on prenait comme cathode et qui laissait dégager les gaz qu'elle tenait occlus. On eut recours ensuite à un morceau de potasse placé dans un diverticulum que l'on chauffait à la lampe à alcool ou au bec Bunsen.

Actuellement on se sert avec beaucoup plus de facilité de l'osmo-régulateur de VILLARD (132 bis, p. 259).

SAINTÉ CLAIRE DEVILLE a montré que le platine, qui tient parfaitement le vide à froid, se laisse traverser au rouge par l'hydrogène et l'oxyde de carbone.

C'est cette propriété que VILLARD a mise à profit. En un coin du tube de Crookes, en *ab* sur la figure 6, est soudé un petit tube de platine. Son extrémité extérieure est fermée, le bout opposé est en communication avec l'intérieur de l'ampoule. Si le tube vient à être porté au rouge dans une atmosphère d'hydrogène et d'oxyde de carbone à une pression plus grande que la pression intérieure, les gaz vont pénétrer dans le tube, si la pression des gaz à l'extérieur est plus faible, il en sortira une certaine quantité de l'intérieur. Ces passages de gaz par osmose à travers le platine chauffé ont fait donner à l'appareil son nom d'*osmo-régulateur*.

Pratiquement, pour régler le tube, on opère de la façon suivante :

a) Passage d'un tube de l'état dur à l'état mou.

— On chauffe le tube *a b* jusqu'au rouge avec un petit bec Bunsen monté sur un manche analogue à celui que représente notre dessin. En quelques secondes le tube est ramolli, ce dont on s'assure au moyen du spintermètre.

b) Passage d'un tube de l'état mou à l'état dur. —

On coiffe le tube *a b* d'un deuxième tube de platine plus large que l'on chauffe par l'extérieur. Dans ces conditions le tube *a b* n'est plus en contact avec la flamme du Bunsen. Il n'en rougit pas moins et est en contact à l'extérieur avec une atmosphère qui ne contient pas d'hydrogène, à l'intérieur avec une atmosphère qui en renferme. Le degré de vide va donc augmenter dans l'ampoule qui durcira peu à peu. Il y a

lieu de remarquer que l'opération est plus longue que dans le premier cas et nécessite un brûleur à flamme plus longue.

*
* *

Tube de Müller. — Le tube à régulateur électrique de la maison MÜLLER, de Hambourg, repose sur un principe tout différent. Il n'en fonctionne pas moins d'une façon très régulière, ainsi que nous avons pu nous en rendre compte au grand Hôtel-Dieu à Lyon, où nous nous en servons depuis près de deux ans.

Le tube de MULLER se compose d'une ampoule de verre R à laquelle est annexé un petit diverticulum B qui communique en A avec le tube principal. En K se trouve un petit anneau pour le fil venant de la *cathode*, en G un second anneau pour attacher le fil de l'*anode*. Mais lorsque le tube a fonctionné assez longtemps dans ces conditions il durcit.

a) Pour le *ramollir légèrement* on n'a qu'à rapprocher de la petite aiguille fixe placée en K, la tige mobile E C'. Un flot d'étincelles jaillit alors entre les deux pointes; le courant passe par dérivation dans le diverticulum et la substance qui forme la cathode auxiliaire C laisse dégager des gaz qui redonnent au tube plus de mollesse. Mais ce procédé de réglage ne fonctionne vraiment bien que si le tube n'a pas longtemps servi.

b) Pour *ramollir fortement* le tube, on détache les fils venant de la bobine d'induction et reliés à G et K pour les attacher aux pôles du tube auxiliaire B. On

fixe le fil positif en J, le négatif en C'. Au moment où le courant passe, une vive lumière traverse alors le petit tube B et l'on voit rougir rapidement la petite spirale de platine placée au-dessous de J. En quelques

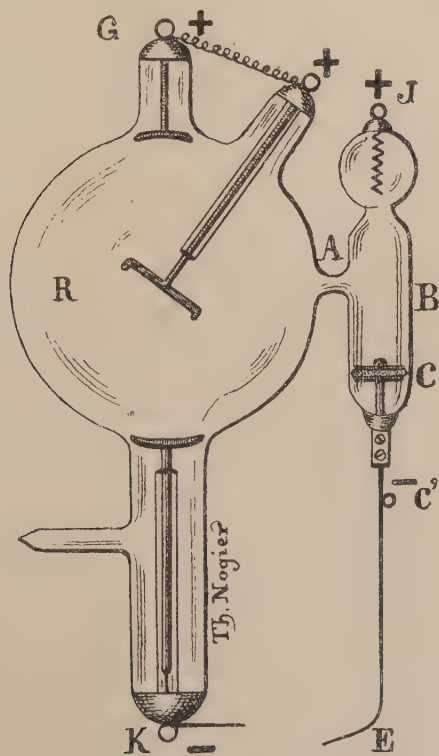


Fig. 7. — Tube de Müller

secondes la résistance du tube, mesurée au spintermètre, diminue de plusieurs centimètres.

Afin d'éviter de détacher les fils du tube principal, M. le Dr BARJON a eu l'idée heureuse de réunir par un fil l'électrode J à l'électrode voisine marquée +, qui

est elle-même reliée à l'anode G. Pour faire passer tout le courant par le tube régulateur il n'y a plus, comme dans la méthode A qu'à rapprocher de K la tige mobile C' E.

c) Pour rendre le *tube plus dur*, on place en J' le fil positif et en K le fil négatif puis on fait passer le courant quelques instants (1). J'avoue n'avoir jamais procédé à cette opération. Toute installation sérieuse disposant de plusieurs tubes, on n'a jamais besoin de passer d'un tube mou à un tube dur en quelques instants.

*
* *

Localisation des rayons actifs. — Pour n'appliquer les rayons X qu'à l'endroit précis que l'on veut traiter, on emploie généralement une série de diaphragmes de plomb qui arrêtent les rayons et par suite protègent les tissus sains.

Tout récemment, le docteur BELOT (120) a proposé pour la radiothérapie un *appareil porte-ampoule localisateur*.

L'appareil, très ingénieux, se compose d'une boîte en ébonite renfermant dans son intérieur une ampoule de Villard dont elle épouse la forme. Cette boîte est constituée par « deux calottes renversées l'une par rapport à l'autre, et réunies suivant le plan de l'anticathode par des vis qui en permettent l'ouverture facile. De forme générale sphérique, elle porte aux deux extrémités d'un même diamètre deux appendices cylindriques qui servent à loger les deux pôles de

(1) Pendant cette opération, on évite avec soin le contact de l'aiguille mobile C'E avec K.

l'ampoule. Deux orifices, situés aux deux extrémités d'un diamètre perpendiculaire au précédent, laissent passage : le supérieur à l'osmo-régulateur, l'inférieur, aux rayons de Röntgen. Un dispositif spécial à double chariot permet de centrer exactement l'ampoule, de façon à ce que le foyer d'émission des rayons corresponde exactement au centre de l'orifice d'utilisation.

« L'orifice inférieur de la boîte, qui livre passage au cône de lumière Röntgen et le limite, porte une bague métallique sur laquelle viennent se visser, à gros filets, toute une série de tubes de différentes longueurs et de différents diamètres, de façon à permettre d'atteindre toutes les régions malades, même le col utérin ou la langue...

« La surface extérieure de la boîte est recouverte d'une feuille de plomb dans toutes les parties frappées par les rayons X, c'est-à-dire dans la région correspondant à la demi-sphère lumineuse anticathodique. »

L'ensemble est monté sur un pied spécial permettant de donner au tube toutes les positions possibles. Le pied sert de plus à réunir électriquement au sol toutes les pièces métalliques du porte-tube de sorte qu'on peut appuyer le patient contre l'appareil sans inconvénient.

« Les avantages de l'appareil sont les suivants :

1^o Possibilité d'utiliser l'appareil dans tous les sens, le sujet pouvant être assis ou couché.

2^o Protection complète de l'ampoule contre les accidents.

3^o Suppression de toute décharge électrique due au champ magnétique qui entoure l'ampoule.

4° Suppression de la lame de plomb ; les tubes de différentes dimensions circonscrivent exactement la partie malade.

5° Le patient, appuyé contre le tube conducteur, a moins de tendance à se déplacer, et la constatation de ce déplacement devient facile.

6° Centrage absolu, mécanique, de l'anticathode par rapport à la lésion.

7° La distance de l'ampoule à la peau est fixée automatiquement par les tubes eux-mêmes. On choisit un tube capable de couvrir la surface malade ; sa longueur est calculée pour assurer le meilleur éclairage possible. Chaque tube porte un chiffre indiquant en centimètres la distance de l'anticathode à la peau.

8° Suppression totale de toutes les radiations inutilisées et, par conséquent, sécurité de l'opérateur et de l'opéré. »

Nous ne doutons pas que cet appareil, s'il tient ses promesses, ne soit appelé à un véritable succès. Il tend à faire de la radiothérapie un traitement véritablement pratique.

D). Radiumthérapie (1)

Dans son intéressant article, « *Le radium au point de vue médical* » M. BERGONIE a passé en revue les divers dispositifs employés pour l'application thérapeutique du radium (189). Nous les rappellerons ici.

(1) Nous prions M. le PROFESSEUR BERGONIE et l'Administration des Archives d'Electricité médicale d'agréer nos plus sincères remerciements pour avoir bien voulu mettre à notre disposition les clichés que l'on trouvera dans ce paragraphe.

D'abord il faut se souvenir que le radium envoyant ses radiations dans tous les sens, une partie se trouvera forcément perdue. Il faut donc réduire au minimum cette déperdition, puis diminuer autant que pos-

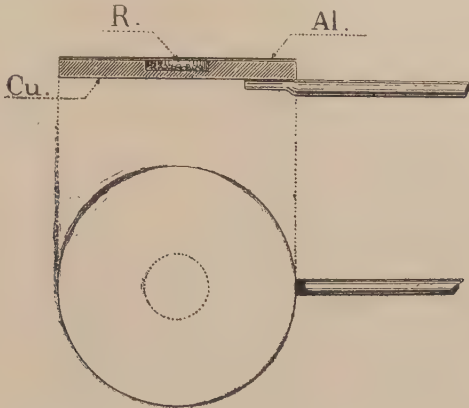


Fig. 8. — Réceptacle à radium, grandeur naturelle.

sible l'absorption des rayons qui sortent de la partie du réceptacle à radium mise en contact avec les tissus malades.

C'est ce qui a été fait dans l'appareil représenté ci-dessus et qu'utilise à Paris M. DANLOS. Dans une lame de cuivre épaisse Cu, on a foré une petite cavité qui reçoit le radium R que l'on étend en couche aussi uniforme que possible afin d'éviter des différences dans l'action. La cupule est recouverte d'une mince lame d'aluminium Al. Le petit instrument est porté par une tige de laiton de 8 à 10 centimètres de longueur consti-

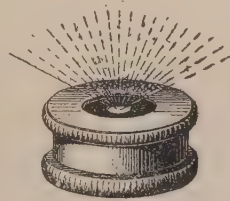


Fig. 9. — Réceptacle à radium en cuivre épais fermé par une lame de mica.

tuant le manche. — Pour utiliser l'appareil, on le retourne de façon à mettre la plaque d'aluminium (transparente aux rayons du radium) en contact avec la zone à traiter. On fait tenir l'appareil à la main par

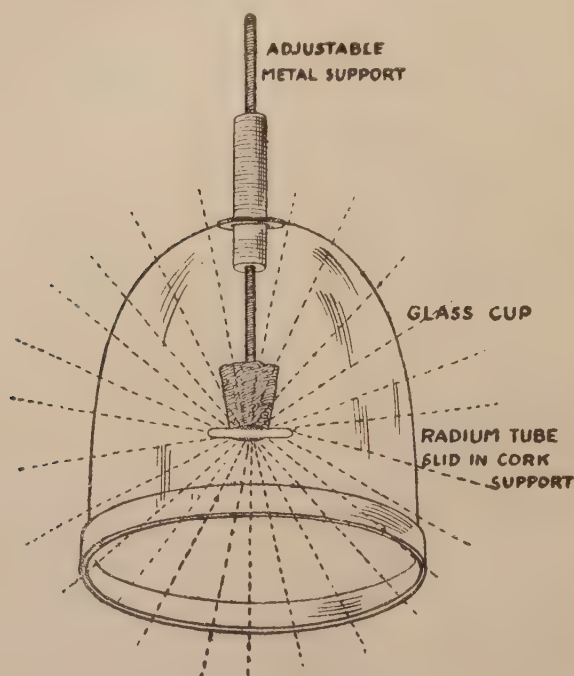


Fig. 10. — Dispositif de W.-J. Morton.

le malade ou on le fixe au moyen d'un bandage un peu serré.

On peut encore enfermer la substance radioactive dans une capsule de métal épais recouverte d'une lame de mica (fig. 9). Cet appareil n'a pas de manche mais son bord molleté permet de le manier avec facilité. Il est très employé en Angleterre.

Ces deux dispositifs permettent de traiter des sur-

faces *planes* d'assez petite étendue. Pour irradier des zones plus larges, W. J. MORTON a imaginé de suspendre le sel radifère au milieu d'une petite cloche que l'on fixe sur la peau par un moyen quelconque (fig. 10). Seulement la pose doit être beaucoup plus longue à cause de la distance qui sépare le radium des tissus.

Si l'on doit porter le radium dans une *cavité* naturelle, vagin, œsophage, les méthodes précédentes ne peuvent plus convenir. Pour le *vagin*, on peut, comme l'a fait W. J. MORTON, enfermer la substance radioactive dans un petit tube en verre exempt de plomb que l'on fixe à l'aide d'une tige mobile à l'intérieur d'un tube en verre mince ou en celluloïd, ce qui est préférable. On a ainsi le dispositif représenté sur la fig. 11.

Le tube extérieur est facile à stériliser ce qui rend l'appareil encore plus pratique.

Lorsqu'on veut traiter les rétrécissements de l'*œsophage* d'origine néoplasique, on dispose le tube à radium à la partie inférieure d'une sonde en gomme. La fig. 12 montre la sonde ouverte sur une partie de

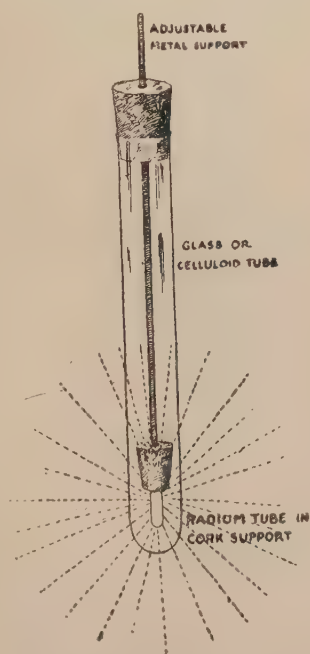


Fig. 11. — Tube à radium de W.-J. Morton pour porter le radium dans des cavités.

sa longueur pour mieux faire saisir le dispositif. Le radium est enfermé dans une petite ampoule de verre entourée elle-même de caoutchouc. On talque l'enveloppe extérieure du tube à radium, et la paroi interne de la sonde puis on pousse avec un fil métallique le sel radioactif jusqu'en un point déterminé. On vérifie

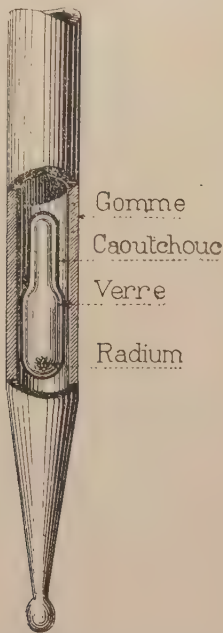


Fig. 12. — Tube de radium introduit dans une sonde œsophagienne.



Fig. 13. — Etui de plomb pour le transport du radium dans les poches.

la position exacte de l'ampoule au moyen de l'écran au platino-cyanure de baryum. La sonde peut alors servir comme une sonde ordinaire.

Ces différents appareils seront sans nul doute perfectionnés encore quand le radium sera devenu une substance moins rare et moins coûteuse. Actuellement,

heureux sont ceux qui en possèdent quelques parcelles. On se prête les échantillons connus, on les transporte parfois fort loin. Mais il est bon alors de se garantir contre les brûlures dangereuses qui pourraient se produire. Au lieu d'employer une simple feuille de plomb roulée autour du tube à radium et qui serait facilement traversée par les rayons émanant de quelques milligrammes de sel pur, il est avantageux de se servir d'un étui en plomb très épais comme celui que représente la fig. 13. Tous les rayons ne sont pas encore arrêtés, mais les plus actifs et partant les plus dangereux sont éliminés par absorption.

TROISIÈME PARTIE

LA MESURE DES RADIATIONS

L'étude que nous venons de faire des différentes radiations et des appareils qui servent à leur application montre que les *agents* et les *moyens* dont dispose la photothérapie sous toutes ses formes sont nombreux. Mais pour en tirer le meilleur parti possible, il faut que le médecin ait à sa disposition des procédés pour mesurer les différentes radiations. En effet, sans des *mesures précises* que l'on réclame de toutes parts et sur lesquels insistait il n'y a pas encore longtemps M. le professeur MARIE de Toulouse (75), on restera dans l'incertitude sur le traitement à appliquer. On ne saura expliquer les différences obtenues par divers opérateurs et le doute continuera à hanter les esprits comme les discussions à défrayer les chroniques scientifiques. C'est à cette question que nous nous sommes particulièrement attachés et nous présenterons, après un

résumé des recherches antérieures, nos résultats personnels Nous diviserons en quatre chapitres cette troisième partie de notre étude physique.

1. Mesure de la radiation actinique solaire ;
 2. Mesure de la radiation actinique des sources artificielles de lumière ;
 3. Mesure et dosage des rayons X ;
 4. Mesure et dosage des rayons de Becquerel.
-

CHAPITRE VIII

Mesure de la radiation actinique solaire

Nous avons vu, dans l'étude du spectre solaire, qu'il se compose de radiations calorifiques, lumineuses et chimiques, mais qu'en un point donné du spectre il n'y a pas à la fois un rayon lumineux, un rayon calorifique et un rayon chimique, c'est-à-dire trois vibrations distinctes superposées, mais bien *une seule vibration de période déterminée*.

On peut penser dès lors qu'il est possible de mesurer l'intensité totale des rayons solaires en mesurant seulement soit leur éclat, soit leurs effets calorifiques, soit leurs effets chimiques. — On a depuis longtemps confondu sous le nom générique d'actinomètres des instruments bien différents destinés à cette détermination. Nous réserverons le nom de *pyrhéliomètres* aux instruments qui servent à évaluer la radiation solaire d'après la chaleur qu'elle rayonne, le nom de *photo-*

mètres aux instruments qui la mesurent d'après sa lumière, le nom d'*actinomètres* à ceux qui s'adressent plus particulièrement à l'action chimique. Or si les photomètres peuvent être parfois employés comme actinomètres, tous les actinomètres ne sont pas des photomètres.

Le procédé le plus simple pour évaluer l'intensité de l'énergie rayonnée par le soleil consiste assurément dans l'observation d'un thermomètre exposé à ses rayons. C'est ce qu'avait tenté Newton, c'est ce que Saussure essaya de réaliser à l'aide de son *héliothermomètre*, J. Herschel avec son *actinomètre*, Pouillet avec son *pyrhéliomètre*, Melloni avec sa *pile thermo-électrique*. Au contraire, les *photomètres* de Bouguer, Ritchie, Rumford, Bunsen, Foucault, Arago, Lummer et Brodhun, Yvon Villarceau, Edge Burel, Joly, Cornu, etc., permettent la mesure de l'intensité *optique* de la lumière du soleil. Enfin les *actinomètres* de Draper, Bunsen et Roscoe, Marchand, Becquerel, Rigollot servent à apprécier l'intensité des *radiations chimiques* de la lumière. Mais la question est de savoir si l'on peut employer indifféremment ces moyens les uns pour les autres ou bien si l'on peut admettre qu'il y a proportionnalité entre les divers genres d'effets que produit la lumière.

Les expériences de JAMIN et MASSON ont prouvé que cette proportionnalité n'existe que pour des rayons d'une longueur d'onde déterminée. On peut dire dès lorsque si une lumière *jaune* est deux fois plus intense qu'une autre elle doit produire deux fois plus de chaleur et posséder une énergie chimique deux fois plus

grande mais on ne peut pas en inférer qu'une lumière jaune est deux fois plus chaude qu'une lumière verte parce que son éclat est doublé. L'éclat relatif de deux sources lumineuses différemment colorées ne peut donc permettre de mesurer à la fois leur puissance calorifique et chimique. Et ce qui n'est pas possible pour deux couleurs est à plus forte raison chose inacceptable pour un ensemble complexe de radiations : la lumière blanche.

Nous avons déjà indiqué que le maximum d'effet calorifique, d'effet lumineux et d'effet chimique se trouve en des *points distincts* du spectre ; par suite, si nous voulons connaître l'intensité des rayons *chimiques* il serait bien illusoire de s'adresser au thermomètre ou au photomètre.

L'*actinomètre seul*, basé sur la modification d'une substance par les rayons chimiques de la lumière, pourra nous renseigner d'une façon précise. C'est du reste la mesure qui importe le plus au médecin puisque l'on a prouvé, et nous le montrerons par la suite, que les *rayons chimiques* ou *actiniques* sont ceux qui ont le *maximum d'action* au point de vue *thérapeutique*.

C'est donc des *actinomètres* seuls que nous nous occuperons ici.

L'idée d'évaluer les radiations chimiques du soleil n'est pas nouvelle. Déjà, en 1841, sir JOHN HERSCHELL proposait de faire usage du papier sensible aux sels d'argent pour la construction d'un *actinographe* destiné à mesurer jour par jour le degré d'éclairement du ciel. Mais d'autres observateurs, entre autres BUNSEN

et ROSCOE, E. MARCHAND, M. et Mme VALLOT se sont adressés à des substances chimiques non photographiques. Il faut remarquer à ce propos que si les rayons violets et ultra-violets sont ceux qui ont une action prépondérante dans l'étiologie du coup de soleil, dans la cure de lumière et dans la cure du loupus, ce sont au contraire les *rayons rouges et jaunes* qui déterminent surtout la réduction de l'acide carbonique dans les feuilles et par conséquent la *nutrition* aérienne des *végétaux* (1). De l'intensité relative des rayons les plus réfrangibles du spectre que l'on mesure par les méthodes actinométriques on ne saurait déduire avec certitude celle des rayons rouges et jaunes, qui intéresse plus particulièrement la vie végétale. « C'est là un point, qu'il ne faut jamais perdre de vue en discutant les expériences d'*actinométrie* exécutées à l'aide de réactifs chimiques » (R. RADAU, 96).

Premières recherches de Bunsen et Roscoe. — La première idée du principe appliqué par ces deux auteurs est due à un physicien de New-York, JOHN W. DRAPER. En 1843 il a publié la description d'un instrument nommé *tithonomètre* qui mesure (par la quantité d'acide chlorhydrique produit lorsqu'on fait tomber des rayons actiniques sur un mélange de chlore et d'hydrogène) l'intensité des radiations chimiques.

Mais les difficultés de l'application d'une pareille méthode ne furent vaincues que dix ans plus tard par Robert BUNSEN et Henri-Enfield ROSCOE. En 1855, ils faisaient connaître leurs premiers résultats et en 1856

(1) On tend de nos jours, à accorder dans cette action une part au moins égale aux *rayons chimiques*. Nous le verrons plus loin.

ils donnèrent la description de leur appareil improprement nommé « photomètre » à chlore et hydrogène.

L'actinomètre à chlore et à hydrogène de Bunsen et Roscoe se composait dans sa forme définitive (25, 93, 96) d'un flacon de verre, l'*insolateur*, où les gaz Cl et H (obtenus par l'électrolyse de HCl étendu d'eau) étaient exposés à la lumière. Ce flacon renfermait 2 à 3cc. d'eau dont le rôle était d'absorber HCl à mesure qu'il se produisait. Il était noirci jusqu'au niveau du liquide, afin que la lumière ne pût agir sur les gaz non combinés dont l'eau était toujours saturée. Un tube gradué traversait le bouchon qui fermait le flacon et aboutissait à une boule pleine d'eau. Quand les deux gaz H et Cl se combinaient sous l'influence de la lumière, une certaine quantité de HCl se formait, les gaz diminuaient dans le flacon et par suite l'eau montait, de la boule dans le tube. La longueur de la colonne d'eau horizontale donnait la mesure de la retraite des gaz.

Après avoir vaincu des difficultés considérables (dangers d'explosion du mélange de Cl et de H, étalonnage de l'instrument), BUNZEN et ROSCOE constatèrent que la quantité de HCl formé était toujours proportionnelle à l'intensité de la lumière incidente.

Ils obtinrent les nombres relatifs suivants pour l'intensité actinique des diverses régions du spectre :

Orangé.....	0.5	Violet.....	60.0
Jaune-vert.....	4.5	Ultra violet.....	55.0
Bleu.....	28.0	—.....	40.0
Indigo.....	55.0	—.....	20.0

Ils remarquèrent que des colonnes d'eau de 10 à 30^{mm} *affaiblissaient à peine* les rayons chimiques émanés d'un bec de gaz. L'absorption due à 1 centimètre d'eau était à peine de 1 à 2 pour cent. Ces résultats sont d'accord avec ceux d'ALLEN MILLER mais ne concordent pas avec l'observation de M. JANSSEN d'après laquelle les rayons violets sont fortement absorbés par la vapeur d'eau.

Secondes recherches de Bunsen et Roscoe. — L'appareil compliqué qu'était l'actinomètre à gaz ne pouvait convenir à la mesure journalière de la force chimique du Soleil et de la lumière diffuse. Aussi BUNSEN et ROSCOE s'adressèrent-ils bientôt à un procédé déjà employé par J. HERSCHEL, HUNT, JORDAN, CLAUDET, c'est-à-dire à l'utilisation de la sensibilité du papier au chlorure d'argent (94). Ils reconnurent par expérience que le temps d'exposition nécessaire pour obtenir une teinte déterminée est toujours en raison inverse de l'intensité de la source lumineuse. Ainsi une lumière d'intensité 1 agissant pendant 2 secondes donne sur le papier la même teinte qu'une lumière d'intensité 2 agissant pendant 1 seconde, autrement dit on obtient toujours la même teinte si le produit de l'intensité lumineuse par le temps d'exposition est constant.

Pour faire une détermination actinométrique, on exposait à la lumière une feuille de papier sensible au chlorure d'argent (préparée avec des précautions spéciales). On comptait au chronomètre le nombre de secondes de la pose, puis on portait la bande dans la chambre noire et on comparait la teinte obtenue à

celle d'une échelle étalon. L'examen était fait à la lumière monochromatique du sodium. On divisait le nombre lu sur l'échelle étalon par la durée d'exposition et l'on avait ainsi l'intensité chimique de la lumière qui avait impressionné le papier.

Mais l'appareil donne des indications dont la lecture n'est pas très facile, puis l'affaiblissement des teintes de l'échelle étalon vient fausser les résultats.

En 1857 DRAPER fit connaître un nouveau procédé pour mesurer la force chimique de la lumière. Ce procédé repose sur la transformation, avec production de CO^2 , de l'oxalate ferrique en oxalate ferreux jaune insoluble. On mesure l'activité chimique des radiations en recueillant CO^2 et en le mesurant, ou en dosant le protosel de fer formé. Le procédé était original, mais son exécution était assez pénible, aussi, malgré sa précision et sa sensibilité, il n'est guère passé dans la pratique.

NIEPCE DE SAINT-VICTOR avait eu l'idée d'exécuter des mesures actinométriques au moyen de CO^2 dégagé sous l'influence de la lumière par une solution d'acide oxalique mélangé d'azotate d'urane. Quoique le procédé fut assez bon en principe il ne permit pas d'obtenir des indications précises.

En 1874, ROSCOE a publié la description d'un *actinomètre enregistreur* qui réduit la besogne de l'observateur à un minimum. Une bande de papier sensible de 3^m. de long et assez étroite avance par saccades sous l'influence d'une horloge électrique et vient se placer sous une plaque métallique percée d'un trou de

4^{mm} de diamètre. « Les points successifs de cette bande se trouvent ainsi exposés à la lumière du jour pendant des intervalles de temps croissant depuis deux jusqu'à trente secondes suivis d'un repos d'une heure, pendant lequel la lumière produit sur la bande un petit disque très noir. A la fin de la journée on enlève la bande impressionnée et l'on détermine la valeur des teintes obtenues par comparaison avec une épreuve étalon (RADAU, 96). » L'appareil est encore trop compliqué pour servir d'une façon courante. D'autre part, il faut le couvrir en cas de mauvais temps avec une lame de verre et corriger les indications pour la perte de lumière qui en résulte.

D'autres physiciens ont encore imaginé des méthodes plus ou moins ingénieuses pour mesurer l'intensité des radiations chimiques.

En 1863, ROUSSIN proposait un mélange de nitroprussiate de soude en solution et de perchlorure de fer, qui donne à la lumière du bleu de Prusse.

PHIPSON a conseillé d'observer la réduction progressive de l'acide molybdique dissous dans un excès de SO^4H^2 .

E. BECQUEREL a recommandé un liquide composé de :

Bichlorure de mercure.....	6 gr. 5
Acide oxalique.....	12 5
Eau	100 0

qui donne à la lumière un précipité blanc de protochlorure de mercure. Malheureusement MARCHAND a montré que la réaction n'est pas régulière, qu'elle se

ralentit bientôt et que le réactif en question est tout à fait impropre à l'usage pour lequel il a été proposé.

E. BECQUEREL a imaginé également d'évaluer l'intensité des radiations chimiques à l'aide d'un *actinomètre électro-chimique* (10, t II, p. 121 et 157). Cet instrument est formé de deux lames d'argent recouvertes d'une couche très mince de sous-chlorure d'argent violet. On les plonge dans un vase de verre contenant de l'eau acidulée et on les relie par des fils à un galvanomètre. Toutes les fois que cet appareil reçoit des rayons chimiques, on voit l'aiguille du galvanomètre accuser la production d'un courant plus ou moins énergique. Mais les résultats fournis par cet appareil ne sont comparables qu'autant qu'on s'adresse à la même substance sensible. D'autre part ce procédé ne nous fournit que des indications relatives.

EGOROFF (40) a construit, avec deux actinomètres de ce genre à plaque d'argent ioduré, un *électro-actinomètre* différentiel. Il a proposé de se servir de cet appareil comme d'un photomètre en plaçant sur le trajet des rayons ultra-violets une dissolution aqueuse d'esculine d'épaisseur variable et suffisante pour les absorber.

MINCHIN (84) a employé pour la photométrie, stellaire un actinomètre spécial. On plonge dans l'œnanthol deux lames d'aluminium sur lesquelles on a étendu à chaud une couche de sélénium. C'est cet appareil que l'on met à la place de l'oculaire dans un télescope pour mesurer la puissance chimique comparée des astres.

M. H. RIGOLLOT a (98), il y a quelques années seule-

ment, fait une étude très complète de l'actinomètre de Becquerel qu'il a modifié de façon à obtenir un appareil très sensible pour les différentes catégories de radiations que l'on veut examiner. Avec un actinomètre à lames de cuivre oxydé sensibilisé à la cyanine, on a un instrument très sensible aux radiations de $\lambda = 0 \mu, 620$; avec celui à lames d'étain sulfuré on peut mesurer les radiations de $\lambda = 0 \mu, 660$. Celui à lames de cuivre fluoruré est surtout sensible aux rayons ultra-violet.

E. MARCHAND, un habile expérimentateur, a fait pendant quatre ans avec une rare persévérance des recherches sur le climat chimique de Fécamp. Il a appliqué sa méthode qu'il nomme *photantitupimétrie* (mesure de la réaction produite par la lumière) durant les années 1869, 1870, 1871 et 1872 (73 et 74).

Son *réactif* est simplement une dissolution aqueuse d'acide oxalique et de perchlorure de fer dans la proportion de 1 équivalent de l'un pour 1 équivalent de l'autre. Dans ces conditions, tous les produits non gazeux de la réaction restent en solution car on n'observe plus la formation de l'oxalate ferreux.

Son *appareil* se compose d'un flacon plat de 90 cc a 100 cc de capacité. On le choisit en verre transparent et on le recouvre d'une épaisse couche de vernis noir. Seulement, à peu de distance du fond, on laisse sur une de ses faces une ouverture circulaire non recouverte de vernis, par où passe la lumière qui doit agir sur le liquide sensible.

On recueille le gaz anhydride carbonique qui se dégage du flacon en expérience. De la comparaison

des quantités de gaz obtenues on déduit la valeur relative des intensités actiniques.

Le maximum de sensibilité du réactif correspond aux rayons de couleur indigo ainsi que le prouve le tableau suivant dressé par Marchand :

Couleur	Effet	Couleur	Effet
Rouge	3	Violet.	214
Orangé.	6	Violet.	76
Jaune.	43	Violet.	31
Vert.	134	Ultra-violet. .	18
Bleu	278	Ultra-violet. .	9
Bleu	338	Ultra-violet. .	5
Indigo	370	Ultra-violet. .	1

En rapprochant ces résultats de ceux donnés plus haut par l'actinomètre à Cl et à H on voit que le procédé de Bunsen et Roscoe était plus sensible pour les rayons très réfrangibles du spectre.

M. et M^{me} VALLOT, en 1897, ont mesuré le degré actinique de la lumière par un moyen analogue. Ils se sont servis d'un réactif à base d'acide oxalique et ils mesuraient CO² dégagé. Ils ont fait de cette façon d'intéressantes expériences sur la radiation chimique à diverses altitudes.

M. de la BAUME PLUVINEL emploie la plaque photographique et dose l'argent réduit au moyen du sulfo-cyanure d'ammonium.

Ou peut enfin mesurer par des procédés photométriques l'opacité de la teinte obtenue sur une plaque sensible.

C'est au *papier sensible* que nous nous sommes

adressés dans les recherches que nous avons entreprises à notre tour sur la question. S'il est moins sensible que la plaque il est aussi plus commode à manier, il permet de plus la mesure de l'intensité actinique *totale* d'une journée.

Nos expériences nécessitaient un appareil enregistreur. Nous l'avons imaginé aussi simple que possible, de façon à en faire un instrument robuste et peu sensible aux intempéries auxquelles il est exposé. Aussi nous avons laissé de côté tout appareil d'horlogerie qui est toujours d'un entretien et d'un réglage assez délicat.

Notre *actinomètre enregistreur* se compose d'un châssis photographique 13×18 dont la glace a été remplacée par un verre très mince (pour arrêter le moins possible des rayons chimiques), sur lequel ont été fixées 60 feuilles de papier paraffiné à grain aussi régulier que possible. Ces feuilles sont groupées deux par deux de telle sorte qu'elles se recouvrent incomplètement les unes les autres formant une sorte d'escalier dont la première marche a une épaisseur égale à deux et la trentième à soixante, si bien que la lumière rencontre successivement 2, 4, 6, 8, 10..... 60 épaisseurs de papier. L'instrument rappelle, comme on le voit, la disposition adoptée par M. Benoist pour son radiochromomètre, seulement l'appareil affecte la forme d'un rectangle au lieu d'être circulaire.

Au-dessous de cette plaque ainsi préparée, on place un papier sensible photographique et au-dessus une arge règle en zinc percée d'une fenêtre allongée de

10^{mm} de large et de 120^{mm} de hauteur. Cette règle est mobile entre deux coulisses dont l'une est munie d'un repère. Supposons maintenant que l'on déplace la règle *une fois par jour* d'une longueur calculée d'avance et limitée par une série d'encoches placées sur une des coulisses, le papier photographique noircira d'une façon variable suivant l'intensité des rayons chimiques qui auront traversé l'appareil. A la fin de la semaine se trouveront ainsi enregistrés à côté les uns des autres les renseignements que l'on désirait obtenir et il n'y aura plus qu'à compter le nombre des petites cases teintées sur le papier photographique jusqu'à la dernière visible. On aura ainsi des chiffres qui donneront tous les éléments d'une courbe.

C'est ce que nous avons fait et nos premiers essais ont porté sur Lyon (190^m d'altitude) et Ambert (Puy-de-Dôme), à 550 mètres. Nous les avons complétés par d'autres observations recueillies dans deux stations alpestres de la Savoie : Pralognan à 1425^m et Val d'Isère à 1850^m d'altitude. Enfin, pour élucider complètement la part de l'altitude dans les résultats obtenus, nous avons, sur les conseils de M. le professeur agrégé BORDIER, fait une série d'observations à Brignais (Rhône), sensiblement à la même altitude que Lyon, mais dont l'atmosphère n'est obscurcie ni par les brouillards, ni par les fumées de la grande ville.

Pour éviter toute cause d'erreur venant de notre part, nous nous sommes entourés de toutes les *précautions* possibles.

1° D'abord les instruments ont été placés rigoureusement de la même manière, la partie qui recevait

la lumière regardant le nord et inclinée de 45° sur l'horizontale. Ils étaient protégés latéralement contre



Fig. 14. — Quelques résultats actinométriques obtenus à Lyon (période d'essais) (1).

les rayons obliques du soleil levant et du soleil couchant.

2° Ils ont été exposés en *plein air* et par conséquent

(1) Ce cliché a été reproduit par les soins de l'Association française pour l'Avancement des sciences.

se sont trouvés à l'abri des causes d'erreur qu'auraient pu donner le voisinage trop rapproché des habitations ou un emplacement sous une baie vitrée. En effet des essais préalables nous avaient montré que les vitres de 4^{mm} d'épaisseur d'un ciel ouvert arrêtaient une notable portion des rayons chimiques.

3° Les instruments ont été comparés à Lyon à plusieurs reprises, pendant une semaine chaque fois, pour s'assurer que les chiffres fournis étaient bien identiques lorsqu'ils se trouvaient dans les mêmes conditions.

4° Le papier photographique employé dans les diverses stations a toujours été du papier au citrate d'argent, marque Lumière. Les feuilles qui devaient servir dans les différentes stations pendant une même semaine provenaient d'une *même feuille* découpée en morceaux de la dimension voulue. De cette manière la question de sensibilité du sel d'argent ne pouvait fausser les résultats.

5° De petits points opaques pour la lumière, tracés sur les degrés de l'appareil, ont permis de mieux juger par contraste de la dernière division atteinte et ont servi à augmenter la précision du procédé.

Résultats obtenus par ces diverses méthodes.

Nous ne citerons ici que les plus importants. Du reste peu d'auteurs ont eu la persévérance d'appliquer pendant un temps un peu long les procédés qu'ils préconisaient. Une exception doit cependant être faite pour MARCHAND qui a patiemment poursuivi ses observa-

tions pendant quatre années consécutives du 1^{er} décembre 1868 au 31 décembre 1872, à Fécamp.

A) *Résultats de Bunsen et Roscoe avec l'actinomètre à chlore et à hydrogène.* — Après une série d'expériences faites avec leur appareil, Bunsen et Roscoe ont *calculé* l'illumination chimique pour toutes les heures d'un *jour d'équinoxe* et pour divers lieux du globe. Si l'on désigne par λ la latitude du lieu, une surface horizontale de ce lieu (supposé au niveau de la mer) reçoit du soleil et de la voûte céleste les quantités suivantes de rayons chimiques :

Soleil : $11.520^\circ \cos^2 \lambda + 127.600^\circ \cos^3 \lambda - 67.140^\circ \cos^4 \lambda$.

Ciel : $2.000^\circ + 37.058^\circ \cos \lambda - 16.559^\circ \cos^2 \lambda$.

Les tableaux suivants indiquent les résultats des calculs en degrés photochimiques (1 degré vaut 0^m, 111 d'acide chlorhydrique en mesure absolue).

I. — Illumination chimique par la lumière diffuse
(C = Ciel)

		MELVILLE (75°)	ST-PÉTERSBOURG (60°)	MANCHESTER (53°)	PARIS (49°)	LE CAIRE (80°)
Matin	Soir					
6 h.	6 h.	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
7	5	8.1	12.5	14.2	15.2	18.6
8	4	12.6	20.1	22.8	24.4	29.2
9	3	16.2	25.6	28.7	30.4	35.0
10	2	18.8	29.2	32.3	33.9	37.6
11	1	20.3	31.1	34.1	35.6	38.2
	Midi	20.8	31.7	34.7	36.1	38.3
Total du jour ...		40.590	46.410	48.220	49.217	21.670

II. — Illumination chimique par le soleil (S = Soleil)

		MELVILLE	SI-PÉTERSBOURG	MANCHESTER	PARIS	LE CAIRE
Matin	Soir					
6 h.	6 h.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	5	0.0	0.1	0.2	0.4	1.7
8	4	0.1	2.9	5.9	8.3	20.1
9	3	0.7	10.7	18.7	24.7	50.0
10	2	1.9	20.3	32.9	42.1	78.6
11	1	3.0	27.6	43.3	54.6	98.3
	Midi	3.5	30.3	47.2	59.1	105.3
Total du jour . . .		4.496	8.927	14.520	18.794	36.440

III. — Illumination totale d'une surface horizontale (C + S)

		MELVILLE	SI-PÉTERSBOURG	MANCHESTER	PARIS	LE CAIRE
Matin	Soir					
6 h.	6 h.	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
7	5	8.1	12.6	14.4	15.6	20.3
8	4	12.7	23.0	28.7	32.7	49.3
9	3	16.9	36.4	47.4	55.1	85.0
10	2	20.6	49.5	65.2	76.0	116.2
11	1	23.3	58.7	77.4	90.2	136.6
	Midi	24.3	62.0	81.8	95.2	143.6
Total du jour . . .		11.790	25.340	32.740	38.010	58.110
Total en mètres d'acide.		1.306 ^m	2.806 ^m	3.625 ^m	4.210 ^m	6.437 ^m

Mais ces résultats sont *théoriques*. Quoique leur base repose sur un grand nombre d'expériences ils ne doivent être qu'approximativement exacts.

B) Résultats expérimentaux dans diverses stations, sous des latitudes différentes.

En 1866, plusieurs observateurs ont entrepris de mesurer comparativement l'effet chimique de la lumière diffuse et des rayons directs du soleil. Ils mesuraient d'abord l'effet total de la lumière du jour puis celui de la lumière diffuse en cachant le soleil par un écran : la différence donnait l'effet du soleil.

ROSCOE observait à Manchester sur le toit du collège Owen, BAXENDELL à Cheetham-Hill près Manchester, WOLKOFF au sommet du Königstuhl près Heidelberg, à 550^m d'altitude, BAKER à Kew, THORPE à Parà sur l'Amazone. Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

Manchester (lat. 53° 29')

Hauteur du soleil —	Ciel —	Soleil —	Total —	Rapport —
17° 1	66	7	73	0.11
26.6	74	8	82	0.11
54.2	140	43	183	0.31

Cheetham-Hill (lat. 53° 31')

19° 5	64	12	76	0.19
25.5	91	19	110	0.21
34.1	104	26	130	0.25

Kew (lat. 51° 28')

12° 9	65	14	79	0.21
21.1	72	30	102	0.42
28.3	104	56	160	0.54
42.4	135	107	242	0.79

Heidelberg (lat. 49° 24')

7° 2	48	2	50	0.04
24.7	134	66	200	0.47
34.6	170	136	306	0.80
53.6	174	263	437	1.51
62.5	199	319	518	1.60

Pará (lat. sud 4° 28')

42° 3	451	168	619	0.37
62.8	552	277	829	0.50
77.3	660	267	927	0.47

L'examen de ces résultats montre que dans la plupart des cas (mais surtout à Pará) *la lumière du ciel l'emporte sur la lumière directe du soleil.*

Ce résultat semble extraordinaire. Cependant, dans certaines expériences, on a trouvé plusieurs fois l'intensité chimique du soleil égale à 0 alors que la lumière diffuse produisait un effet très sensible, et que l'ombre projetée par les rayons visibles était très marquée. C'est ce qu'ont donné plusieurs déterminations faites à Heidelberg pour des hauteurs du soleil comprises entre 0° et 13°.

Deux autres séries d'expériences viennent confirmer ces résultats :

α) A Cheetham-Hill, le soleil étant élevé de 25°, on a trouvé que les intensités chimiques du soleil et de la lumière diffuse étaient comme 0,23 est à 1, tandis que leurs intensités optiques étaient dans le rapport 4 à 1. A Manchester, pour une hauteur de 12° on a trouvé 0,053 à 1 pour le rapport des intensités chimiques et 1,40 à 1 pour les intensités lumineuses.

β) A Quinta do Estero Furado, à 14 kilomètres au sud-est de Lisbonne, sur un plateau dominant le Tage, CRESWELL a pu constater, après de nombreuses observations, que la lumière diffuse du jour égale la lumière directe du soleil lorsqu'il est élevé de 50° et que la *force chimique des rayons directs est nulle au-dessous de 10°* .

Mais les résultats de MARCHAND, à Fécamp, contredisent les précédents. Des expériences spéciales lui ont montré qu'aux environs du solstice d'été, si l'effet actinique, sur une surface horizontale, atteint un total de 35 cc 090 la part du soleil est de 22 cc 769 et celle de la lumière diffuse de 12 cc 231 seulement (RADAU 96, p. 73).

C) *Variations de la radiation chimique dans une même journée.* — Quant aux causes qui font varier l'intensité chimique du soleil dans une même journée, il résulte des diverses expériences qui ont été faites :

α) Que cette intensité est une fonction linéaire de la hauteur du soleil lorsque cet astre a une hauteur comprise entre 10° et 65° , mais qu'au delà de 65° la courbe s'incline rapidement.

β) Que l'intensité chimique correspondant à une hauteur donnée du soleil *augmente avec la température*. La chaleur en effet, d'après ROSCOE, favoriserait la transparence chimique de l'air, en diminuant l'*opalescence* de l'atmosphère (RADAU, 96, p. 57).

γ) Que la diffusion des fumées qui s'échappe des cheminées paraît jouer un rôle important dans l'affaiblissement de l'action chimique de la lumière.

δ) Que la présence de certains nuages blancs (cirrus ou

cumulus) au zénith favorise la réaction photochimique (MARCHAND, 73 et 74). Un léger rideau de nuages blancs *peut quadrupler* l'action de la lumière du ciel, tandis que les nuées d'orage ou les épais brouillards absorbent une grande partie de l'activité chimique de la lumière diffuse émanée du ciel (BUNSEN et ROSCOE).

ε) Que la force chimique de la lumière est presque toujours, à égale distance du méridien, *plus grande le soir* que le matin (MARCHAND cité par RADAU 96, p. 69). L'entente n'est du reste pas parfaite sur cette dernière question. CRESWELL, à la suite de ses déterminations aux environs de Lisbonne, conclut que les moyennes du matin diffèrent très peu de celles du soir. Cependant entre 10 heures et 11 heures du matin on constate un léger écart qui est *en faveur des observations du matin*. M. RIGOLLOT, à l'aide de son actinomètre électro-chimique sensible aux radiations de $\lambda = 0,472$ a trouvé que cette partie du spectre est transmise après diffusion par l'atmosphère en *plus grande quantité à midi et demi* qu'à toute autre heure de la journée, du moins à cette époque de l'année (17 septembre). De chaque côté de ce maximum la courbe est sensiblement symétrique pour les différentes heures du jour. Mais il faut remarquer que cet actinomètre était très peu sensible aux rayons bleu-indigo, violet et ultra-violet.

ζ) Que la force chimique totale (soleil + lumière du ciel) rayonnée entre 10 h. du matin et 2 h. de l'après-midi est *la moitié* ou souvent *plus de la moitié* de la force totale rayonnée dans la journée entière.

η) Que dans les mois de mai, juin, juillet et août, si

l'on ajoute à l'énergie rayonnée entre 10 h. et 2 h. celle qui est rayonnée entre 9 h. et 10 h. et entre 2 h. et 3 h. on a les $\frac{7}{10}$ de l'énergie chimique totale de la journée.

D. — Variations de la radiation chimique avec l'altitude.—BUNSEN et ROSCOE ont calculé, en se basant sur l'absorption que l'atmosphère fait éprouver aux rayons chimiques, qu'à l'époque où le soleil s'approche le plus du zénith, sous les latitudes de l'Himalaya, son énergie chimique est de moitié plus grande sur les plateaux tibétains que dans les plaines basses de l'Inde; lorsqu'il est à 45° de l'horizon, l'illumination chimique des plateaux par les rayons directs est déjà double de celle des bas-fonds. Enfin, sur le faite du Gaurisankar, où le baromètre tombe au-dessous de 260^{mm}, l'illumination chimique due à un soleil élevé de 10° seulement doit être représentée par 7 mètres de HCl, tandis que sur la côte le même soleil ne donnerait en HCl que 0^m3 (RADAU 96, p. 47).

L'illumination chimique totale (soleil + ciel) dans une station où le baromètre indique la pression h peut être assez bien représentée par la formule empirique

$$3,1 + 0,635 h + 0,05775 h^2 - 0,00048 h^3$$

M. et Mme VALLOT, en mesurant *expérimentalement* l'intensité de la radiation chimique au moyen de la décomposition de l'acide oxalique, ont vu, en 1897, qu'entre Chamonix (1095^m) et le Montanvert (1925^m), il y avait toujours une grande différence dans la radiation. Le rapport varie de 1,5 à 2,9 suivant l'état de l'atmosphère. On peut donc dire que les radiations très

réfrangibles sont très absorbées par l'atmosphère, puisque 1.000 mètres en absorbent environ la moitié. L'absorption des autres radiations est beaucoup plus faible.

Les observations que nous avons faites à notre tour ne sont point en parfait accord avec les précédentes. Nous indiquerons d'abord nos résultats dans une série de tableaux et nous mettrons en regard les moyennes obtenues par M. MARCHAND à Fécamp. Nous verrons ensuite quelles conclusions il faut tirer des chiffres obtenus.

I. — MOIS DE JUIN 1903

Jours	LYON	Moyennes par décades	AMBERT	Moyennes par décades	FÉCAMP (M. Marchand)			
					1869	1870	1871	1872
1	23°	22° 1	27°	25° 0	20° 84	17° 96	17° 16	20° 11
2	23		27					
3	23		22					
4	21		21					
5	24		24					
6	22		28					
7	22		27					
8	22		25					
9	21		24					
10	20.		25					
11	22	27	25.4	20.96	20.99	16.45	24.45	
12	23	27						
13	20.5	22						
14	21.5	24						
15	22	26						
16	21	24						
17	23	27						
18	23	28						
19	20	24						
20	24	25						
21	21	23	26.6	22.71	28.05	17.53	25.29	
22	22	25						
23	23	26						
24	23	26						
25	23	28						
26	22	28						
27	22	29						
28	23	30						
29	22	27						
30	22	24						
Moyennes générales.		22° 13		25° 66	Moyenne des 4 années : 21° 04			

II. — MOIS DE JUILLET 1903

Jours	LYON	Moyennes par décades	AMBERT	Moyennes par décades	PRALOGNAN	Moyennes par décades	FÉCAMP (M. Marchand)			
							1869	1870	1871	1872
1	23°	22° 2	27°	27° 25	23°	22° 0	17° 61	20° 08	23° 83	22° 84
2	21		29							
3	24		27							
4	23		27							
5	23		29.5							
6	22	21.6	26	25.5	23°	22.75	25.69	18.89	19.87	24.01
7	22		26		21					
8	21		27		23					
9	22		26		22					
10	21		28		21					
11	21	21.5	28	25.73	21	22.30	20.78	19.29	21.32	22.84
12	22		28		21					
13	22		25		24					
14	23		24		25					
15	20		27		22					
16	24	21.30	27	26° 1	24	23° 46	Moyenne des 4 années : 21° 41			
17	21		24		23					
18	21		24		22.5					
19	21		24		22					
20	21		24		23					
21	21.5	21° 7	25	26° 1	22	22° 46				
22	21		27		21.5					
23	22		26		23					
24	21		25		22.5					
25	21		25		21					
26	22	21° 7	24	26° 1	22	22° 46				
27	20		26		22					
28	22		27		24					
29	21.5		27		23					
30	22		25		22					
31	22.5	21° 7	26	26° 1	23.5	22° 46				
Moyennes générales										

III. — MOIS D'AOUT 1903

Jours	LYON	Moyennes par décades	AMBERT	Moyennes par décades	PRALOGNAN	Moyennes par décades	FÉCAMP (M. Marchand)			
							1869	1870	1871	1872
1	21°	20° 75			24°					
2	21				23					
3	20				22					
4	21				20.5					
5	21.5				21	21° 05	13° 79	19° 11	24° 39	14° 43
6	21.5				20					
7	21				20.5					
8	21				20.5					
9	19				21.5					
10	20.5				20.5					
11	19.5	20.20	23° 5		21					
12	21		25.5		22					
13	20.5		24		21					
14	22.5		26		22.5					
15	19		23.5	24° 40	19					
16	22		24		21	21.00	18.60	21.33	19.32	22.47
17	19		25		21.5					
18	19.5		25		21.5					
19	19		23.5		20					
20	20		24		20.5					
21	20		24.5		21					
22	20.5		26.5		22					
23	21		26		23					
24	21		24		23					
25	21.5	20.65	24	24.55	21					
26	21.5		25		22	22.05	20.87	19.04	18.51	15.34
27	20		23		22					
28	19		24		22					
29	20		24.5		22.5					
30	22		24		22					
31	21		22		21.5					
Moyennes générales		20° 54		24° 35		21.37	Moyenne des 4 années : 18° 92			

IV. MOIS DE SEPTEMBRE 1903

Jours	LYON	Moyennes par Décades	AMBERT	Moyennes par Décades	PRALOGNAN	Moyennes par Décades	VAL D'ISÈRE	Moyennes par Décades	FÉCAMP (M. Marchand)			
									1869	1870	1871	1872
1	21°		22°5		21°							
2	21		23.5		22							
3	21		23.5		21							
4	20.5		23		21.5							
5	21.5	20°75	24.5	23°05	20.5	21°20			15°24	15°86	15°28	17°00
6	22		24		20							
7	20		21.5		22							
8	21		23		22							
9	19		22		21							
10	20.5		23		21							
11	19.5		23		21.5							
12	»		23.5		22							
13	»		24.5		19							
14	»		22.5		21		22°					
15	»		22	23.00	18.5	20.85	21.5		12.87	16.22	15.55	10.60
16	»		23		23		23					
17	»		22.5		22.5		22.5 21°71					
18	»		22.5		21		21.5					
19	»		23.5		20		21					
20	»		23		20		20.5					
21	»		25				22					
22	»		23				22					
23	»		23				22					
24	»		22.5				21					
25	»		23.5	23.20			22.5	21.40	13.55	18.37	4.49	9.03
26	»		22				21					
27	»		22.5				20					
28	22		23				21					
29	21	21 33	24				22					
30	21		23.5				20.5					
Moyennes génér.		20.7		23.08		21.02		21.52	13.65			

V. — MOIS D'OCTOBRE 1903

Jours	LYON	Moyennes par décades	AMBERT	Moyennes par décades	VAL D'ISÈRE	Moyennes par décades	FÉCAMP (M. Marchand)			
							1869	1870	1871	1872
1	21	19.80	23	22.40	21	21.11	11.51	12.24	6.94	10.93
2	20		22.5		21					
3	20.5		24		21					
4	21		23		20					
5	19		22		21					
6	19		22		23					
7	18.5		21		21					
8	20		21		20					
9	19.5		23		22					
10	19.5	22.5	Neige	20.90	5.22	7.35	7.60	5.61		
11	19	22	21.5							
12	18	22.5	20							
13	19	23.5	23.5							
14	18.5	21.5	20							
15	18	22.5	21							
16	19	22	21							
17	19	22	21							
18	19	20	20							
19	18.5	18.60	»	20	21.38	2.65	4.06	4.33	5.01	
20	18		»	21						
21	20		»	22						
22	18		»	24.5						
23	18		»	Neige						
24	18		»	21.5						
25	19.5		»	20						
26	15		»	17						
27	19.5		»	23						
28	15	17.70	»	20	22.5					
29	15		»	22						
30	19		»	22.5						
31	17.5		»	23						
Moyennes générales		18.66		22.22		21.87	Moyenne des 4 années : 6.86			

VI. MOIS DE NOVEMBRE 1903

VI. MOIS DE NOVEMBRE 1903								
Jours	LYON	Moyennes par décades	VAL D'ISÈRE	Moyennes par décades	FÈCAMP (M. Marchand)			
					1869	1870	1871	1872
1	19	15.85	22.5	19.40	2.49	4.03	3.27	3.52
2	15		19					
3	16		19					
4	13		18.5					
5	15.5		18.5					
6	17.5		20					
7	14.5		19					
8	17		20					
9	16	19.5	18.25	2.59	3.59	4.15	2.40	
10	15	18						
11	15	18.5						
12	18	18.5						
13	14	18.5						
14	17.5	20						
15	16	19.5						
16	14	13						
17	16.5	19.5	20.11	1.96	2.45	1.97	2.73	
18	17	18.5						
19	12	20						
20	13.5	16.5						
21	13.5	15.5						
22	17	19						
23	13.5	20						
24	16	19.5						
25	12	20	14	19.25	Moyenne des 4 années : 2.89			
26	12	22						
27	13.5	21						
28	14.5	23						
29	15	21						
30	13	21						
Moyennes générales.		15.06	Les observations ont dû être arrêtées à cause des chutes abondantes de neige					

VII. — MOIS DE DÉCEMBRE 1903							VIII. — MOIS DE JANVIER 1904						
Jours	LYON	Moyennes par Décades	FÉCAMP (M. Marchand)				LYON	Moyennes par Décades	FÉCAMP (M. Marchand)				
			1869	1870	1871	1872			1869	1870	1871	1872	
1	11° 5						14						
2	10.5						13						
3	12.5						12.5						
4	14						13.5						
5	14	13° 00	1° 69	2° 22	1° 38	1° 62	13	13° 75	0° 72	1° 98	1° 90	2° 15	
6	14						11.5						
7	14.5						14						
8	13						17						
9	14.5						15.5						
10	11.5						16.5						
11	12.5						10						
12	14.5						15.5						
13	14						15.5						
14	14.5						13						
15	14.5	13.55	2.34	1.58	1.45	1.76	15.5	14.45	0.71	1.77	2.09	1.80	
16	13.5						14						
17	15						16.5						
18	14.5						12.5						
19	11						14.5						
20	11.5						14.5						
21	12						10.5						
22	10						13						
23	13						15						
24	13.5						10						
25	12	12.70	1.06	1.28	1.91	2.59	12	13.55	2.08	3.34	1.12	2.37	
26	13						10.5						
27	13.5						12						
28	13						19						
29	13.5						15						
30	13.5						18.5						
31	13						18						
Moyennes génér.		13.08	Moyenne des 4 années : 1.80				13.95		Moyenne des 4 années : 1.84				

IX. — MOIS DE FÉVRIER 1904							X. — MOIS DE MARS 1904						
Jours	LYON	Moyennes par Décades	FÉCAMP (M. Marchand)				LYON	Moyennes par Décades	FÉCAMP (M. Marchand)				
			1869	1870	1871	1872			1869	1870	1871	1872	
1	15° 5						17						
2	12						15						
3	10.5						14.5						
4	13.5						16						
5	13	14° 55	2° 46	2° 37	3° 22	4° 27	17.5	16° 90	1° 88	4° 16	9° 60	10° 11	
6	15						18						
7	16						19						
8	17						17.5						
9	16.5						16.5						
10	16.5						18						
11	17						17						
12	17						17.5						
13	16						17.5						
14	17						17						
15	15	16.40	2.59	3.56	5.22	5.52	17	17.20	1.88	3.89	9.22	9.94	
16	17						17.5						
17	16.5						14						
18	16						17.5						
19	17						18.5						
20	15.5						18.5						
21	16.5						20						
22	15						21.5						
23	15						17						
24	17						13.5						
25	17	16.38	1.80	5.64	4.03	6.77	14.5	17.35	1.25	4.58	11.47	9.24	
26	16.5						17						
27	17						18						
28	17						16						
29	16.5						18						
30							18						
31							18						
Moyennes génér.		15.77	Moyenne des 4 années : 3.93				17.17		Moyenne des 4 années : 6.44				

XI. — MOIS D'AVRIL 1904

Jours	LYON	Moyenne par décades	BRIGNAIS	Moyennes par décades	FÉCAMP (M. Marchand)			
					1869	1870	1871	1872
1	17°	18° 55	21.5	21° 75	3° 53	14° 66	14° 87	10.63
2	20		22.5					
3	20.5		22.5					
4	18.5		21.5					
5	19		22.5					
6	19		22					
7	18		21.5					
8	14.5		20					
9	18		21.5					
10	21		22					
11	18	18.85	20.5	22.15	5.30	22.95	12.59	19.42
12	19		22					
13	19		23					
14	19.5		23.5					
15	18		23					
16	20		20.5					
17	20		23					
18	19		22					
19	18.5		22					
20	17.5		22					
21	17.5	18.55	21.5	21.75	14.65	19.41	15.12	16.02
22	16		20					
23	19		22					
24	20		22					
25	18.5		22					
26	18.5		22					
27	19		22.5					
28	19		21.5					
29	19		22					
30	19		22					
Moyennes générales		18.65		21° 88	Moyenne des 4 années : 14° 10			

XII. — MOIS DE MAI 1904

Jours	LYON	Moyennes par décades	BRIGNAIS	Moyennes par décades	FÉCAMP (M. Marchand)			
					1869	1870	1871	1872
1	21°	19° 55	23°	22° 20	11° 94	18° 78	21° 85	15° 52
2	19.5		22.5					
3	19		22.5					
4	19.5		22.5					
5	19		21					
6	18.5		22					
7	19		22.5					
8	20		22					
9	20.5		22.5					
10	19.5		21.5					
11	21	23	22.45	13.08	21.77	19.13	15.05	
12	20	21.5						
13	20	21.5						
14	20	22						
15	20.5	23						
16	20.5	22						
17	21	23.5						
18	19.5	22.5						
19	21.5	23.5						
20	19.5	22						
21	21	23	22.65	11.90	22.14	23.28	22.98	
22	21	23.5						
23	20	22.5						
24	21	22.5						
25	21	23.5						
26	22	23.5						
27	23	23						
28	22	23						
29	21.5	22						
30	21	22						
31	20	21						
Moyennes générales.		20° 40	22° 38	Moyenne des 4 années : 19° 46				

XIII. — MOIS DE JUIN 1904			
LYON	MOYENNES par décades	BRIGNAIS	MOYENNES par décades
Première décade	20° 80	Première décade	22° 45
Deuxième décade	20,90	Deuxième décade	22° 35
Troisième décade	20,65	Troisième décade	22° 65
Moyennes générales	20° 78	Moyennes générales	22° 48

De la comparaison des premiers résultats obtenus à Lyon et à Ambert nous avons cru pouvoir admettre que l'intensité actinique de la lumière diffuse augmentait avec l'altitude. Les courbes comparatives résumant les résultats des mois de juin et de juillet 1903 semblent le prouver nettement (Fig. 15).

Mais peu après les résultats qui nous arrivèrent des Alpes nous montrèrent que cette hypothèse n'était pas justifiée. Un autre facteur était en jeu : la pureté et la transparence de l'atmosphère. Ce qui le prouve d'une manière indiscutable, ce sont les résultats obtenus à Lyon et à Brignais. Dans ces deux stations l'altitude est la même et les conditions expérimentales identiques : il ne reste donc pour expliquer la valeur plus grande des résultats qu'à invoquer l'absence de poussière et de fumée à la campagne.

Cependant, il est une cause d'erreur que nous n'avons pu éviter et qui pourrait bien influencer les résultats obtenus à Pralognan et à Val d'Isère : c'est la différence de température avec Lyon. Or on sait que la sensibilité des préparations photographiques décroît

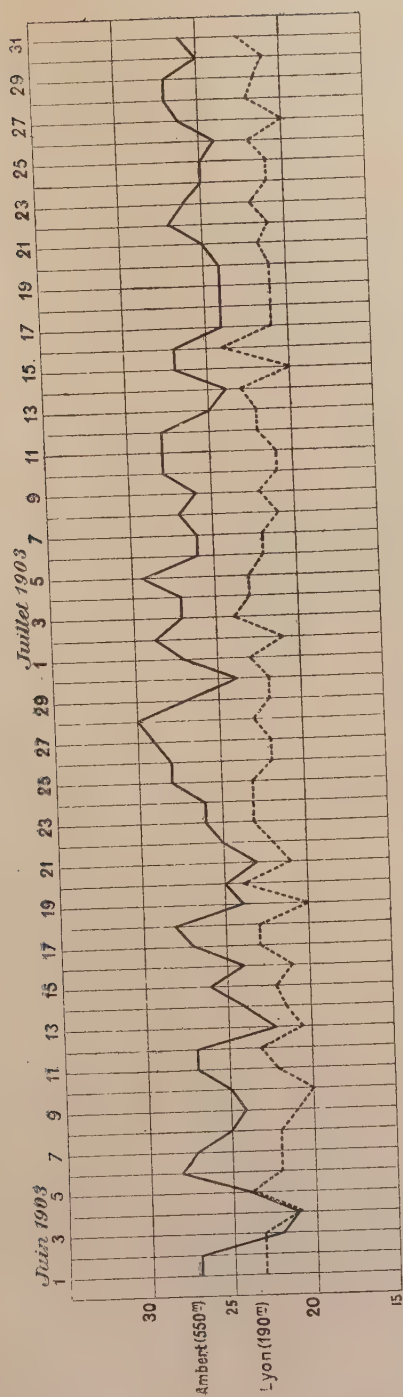


Fig. 15. — Graphique des observations actinométriques à Ambert et à Lyon en juin et juillet 1903

lorsque la température s'abaisse et il y aurait peut-être lieu de formuler certaines réserves sur les chiffres que nous donnons plus haut.

(E). *Déductions au point de vue médical et thérapeutique de l'ensemble des résultats obtenus.* — Des résultats que nous avons obtenus et de ceux de nos devanciers on peut tirer quelques conclusions du plus haut intérêt pratique :

1° Toutes les fois que l'on voudra utiliser les effets chimiques de la lumière du soleil, il y aura avantage à choisir une localité aussi méridionale que possible. L'intensité actinique croît en effet avec la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

2° Lorsqu'un malade doit prendre des *bains de soleil* ou faire une *cure de lumière*, l'exposition aux rayons directs aura son maximum d'effet entre 10 heures du matin et 2 heures de l'après-midi. En mai, juin, juillet et août on pourra ajouter 2 heures d'exposition de plus entre 9 heures et 10 heures, entre 2 heures et 3 heures.

3° Dans tous les cas, on doit s'éloigner des grandes villes et des centres industriels dont les fumées et les poussières arrêtent une notable partie des radiations actiniques.

4° Une altitude moyenne, voisine de 500 mètres, est très propice à un traitement héliothérapique, du moins pendant la belle saison.

5° En hiver, au contraire, il y a avantage à s'élever pour profiter d'une transparence plus grande de l'atmosphère. L'examen de la partie des tableaux rela-

tifs à Val d'Isère semble le prouver nettement. Alors qu'à Lyon l'intensité actinique de la lumière tombait, de la troisième décade de septembre à la fin de novembre 1903, de $21^{\circ},33$ à 14° elle ne s'abaissait pendant le même temps à 1.850 mètres d'altitude, que de $21^{\circ},40$ à $20^{\circ},11$. Elle restait donc aussi élevée qu'à Lyon au milieu d'*août* 1903 ou de *mai* 1904. Il y a là une confirmation scientifique de l'opinion des médecins qui envoient les tuberculeux à la montagne pendant l'hiver pour y profiter de l'intense radiation solaire. La chute des neiges ne fait qu'augmenter la puissance actinique de la lumière que l'on voit passer de $18^{\circ},25$ (2^e décade de novembre) à $23^{\circ},11$ (3^e décade de novembre). A Lyon au contraire l'intensité actinique va diminuant de plus en plus, l'hiver coïncidant avec une longue période de brouillards.

Le rapport qui existe entre les degrés actiniques que nous avons obtenus en hiver et en été ne semble pas être le rapport vrai, c'est-à-dire que le degré 20 n'indique pas une intensité deux fois plus forte que celle qui a donné le degré 10. Il y aura lieu d'étudier comment se comporte notre actinomètre enregistreur lorsqu'on fait varier comme 1, 2, 3, 4, etc., l'intensité des rayons qui viennent le frapper. Nous publierons ultérieurement les recherches que nous avons commencées à ce sujet, mais elles nous permettent déjà d'indiquer que les intensités chimiques croissent beaucoup plus rapidement que le nombre de degrés lus sur le papier photographique.

Il y a lieu de souhaiter que des observations de ce genre soient faites dans les diverses stations climatériques. On aurait ainsi, au bout de quelques années, la définition du *climat chimique* de ces différentes localités. Les médecins en tireraient d'utiles indications et les malades ne pourraient qu'y gagner.

CHAPITRE IX

Mesure de la radiation actinique des sources artificielles de lumière

Si la mesure de la radiation chimique du soleil offre une grande importance au point de vue de l'hygiène et de la thérapeutique, celle des sources artificielles offre un intérêt plus grand encore.

La photothérapie en effet n'utilise plus que rarement les rayons directs du Soleil et s'adresse à l'électricité pour obtenir des sources de radiations faciles à manier et toujours prêtes à servir. Mais nous avons vu que les dispositifs sont nombreux. Après les premiers travaux de Niels Finsen est apparue toute une série d'instruments destinés à la photothérapie. L'un des premiers et des plus habilement construits est certainement l'appareil Lortet-Genoud (de Lyon). Mais il avait à peine attiré sur lui l'attention que déjà de nombreux dispositifs nouveaux étaient annoncés. On

publiait des résultats bien supérieurs. Tantôt on ressuscitait l'antique Lampe-Soleil, depuis longtemps oubliée ; tantôt on introduisait une baguette de fer ou d'aluminium dans l'intérieur des charbons, etc. Dans ces appareils, l'intention était excellente : augmenter le rendement de l'arc en rayons chimiques par ceux que peut produire la combustion de certains métaux. Mais où était la vérité dans ces diverses affirmations ?

Le critérium de la puissance chimique de la lumière pour le traitement du lupus, par exemple, semblait être d'arriver à la guérison en diminuant le nombre des séances et le temps d'exposition pour chacune. Aussi les expériences n'ont-elles pas manqué, à en croire du moins les comptes rendus des journaux de médecine. Avec des sujets bien choisis et avec des lésions peu anciennes, que ne peut-on pas obtenir ? Mais la joue ou le nez d'un lupique permettaient-ils de tirer une conclusion valable et d'affirmer la supériorité d'un appareil ? Il serait téméraire de l'affirmer.

Pour pouvoir obtenir quelques renseignements utiles sur la valeur des sources lumineuses photothérapiques, il faudrait trouver un sujet porteur de lésions *identiques* sur les deux côtés de la face, ayant *même ancienneté*, et le traiter pendant *le même temps* avec *deux appareils différents*. On aurait alors la possibilité de comparer. Ce ne serait pas l'idéal, tant s'en faut, car il manquerait encore, pour définir complètement la question, la mesure de l'intensité du courant électrique, la détermination de l'inclinaison des charbons, la distance de l'arc à la surface traitée, etc., etc.

Les recherches dans ce sens n'ont pas manqué. On pourrait employer pour ces mesures l'actinomètre de BUNSEN et ROSCOE à Cl et H, l'actinomètre à acide oxalique et perchlorure de fer de MARCHAND, l'actinomètre électrique de E. BECQUEREL ou le modèle perfectionné de M. H. RIGOLLOT mais tous ces procédés, excellents dans un laboratoire de recherches, ne sont pas cliniques et ne sont pas à la portée du médecin.

M. Marie de Toulouse a fait, il y a peu de temps, des recherches sur la question (75) et s'est adressé au papier photographique. C'est un procédé commode, mais nous devons faire remarquer que le procédé de comparaison des intensités lumineuses par le papier sensible des photographes est un peu primitif. En effet, ce papier n'est presque jamais comparable à lui-même, alors même qu'on se servirait toujours d'une seule marque. Sa sensibilité varie dans de grandes proportions suivant l'âge de la couche sensible et suivant la température. D'autre part, avec un pareil procédé, on ne peut guère apprécier d'une façon exacte la puissance chimique de la lumière.

Au moment où nous pensions, nous aussi, recourir au papier photographique pour des mesures actinométriques, nous avons construit un appareil simple, permettant, avec une pose fixe, d'apprécier assez exactement le rapport entre l'intensité chimique de deux sources quelconques.

L'appareil se composait d'un cercle divisé en secteurs recouverts d'épaisseurs croissantes de papier teinté en bleu. On insolait, pendant un temps connu, un papier photographique derrière l'appareil, à une dis-

tance déterminée de la source lumineuse. On obtenait ainsi des secteurs de teintes décroissantes. De la comparaison des épreuves obtenues, nous avons pu déduire notamment que l'appareil Lortet et Genoud fournissait 96 fois plus de radiations chimiques que la lumière diffuse du jour, à midi, le 9 janvier 1902.

La difficulté de trouver des feuilles de papier teinté de même épaisseur et de même couleur, nous avait fait penser au celluloïd que l'on peut obtenir facilement en lames minces d'épaisseur toujours identique. Mais la presque impossibilité d'avoir des teintes inaltérables et identiques pour tous les appareils, nous a fait recourir à un autre procédé, basé sur la fluorescence du platino-cyanure de baryum que provoquent les rayons violets et ultra-violets.

La méthode de mesure du pouvoir photochimique des arcs, à laquelle nous avons eu recours, rappelle une expérience faite par Finsen lui-même, dans le but de se rendre compte de la qualité des rayons émis par un arc, au point de vue de leur action curative sur le lupus. Ce savant se servait, comme réactif, d'oreilles de lapins appliquées les unes contre les autres. Après l'exposition de ces couches de tissus vivants à la lumière de l'arc que l'on étudiait, on évaluait la profondeur à laquelle les radiations chimiques avaient pénétré en examinant le nombre des oreilles présentant les phénomènes réactionnels produits par l'arc. Avec un certain modèle, ces phénomènes s'arrêtaient, par exemple, à la première oreille ; avec un autre modèle, la réaction inflammatoire arrivait jusqu'à la quatrième oreille, et ainsi de suite.

Ce procédé physiologique, malgré sa grande valeur, est peu pratique, on en conviendra. Celui que nous allons décrire est, au contraire, essentiellement clinique.

Si l'on suppose une couche de platino-cyanure de baryum étendue sur une lame de quartz de forme circulaire et placée dans une petite *chambre noire* fermée à sa partie antérieure par une autre lame de quartz, tous les rayons violets et ultra-violets qui pénétreront par la fenêtre antérieure provoqueront la fluorescence du platino-cyanure. Si l'on intercale maintenant des solutions colorées absorbant les rayons chimiques et lumineux entre la source et l'écran, on conçoit facilement que l'épaisseur de la couche nécessaire pour éteindre la fluorescence variera avec la puissance actinique de chaque source, et pourra servir à la mesurer. Tel est le principe de l'appareil que nous avons imaginé en collaboration avec notre maître, M. le Professeur agrégé Bordier (20).

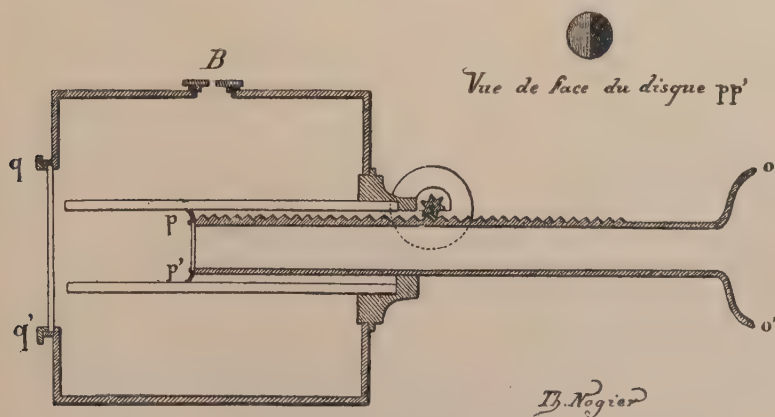


Fig. 16 — Coupe schématique de l'actinomètre Bordier-Nogier.

Voyons maintenant le détail de l'instrument. La partie gauche de la figure 16 montre nettement la petite chambre noire en laiton fermée en B par un bouchon à vis destiné à l'introduction des liquides.

A la partie antérieure (en coupe, elle est représentée à gauche) est un disque de 4 centimètres de diamètre en quartz *qq'* permettant l'arrivée des rayons violets et ultra-violets. A la partie postérieure est mastiqué un tube de cristal dans lequel glisse, entraîné par une crémaillère, un tube métallique muni d'un cuir embouti formant piston et fermé, à sa partie antérieure, par une lame de quartz *pp'*. Cette lame est recouverte, sur la face qui regarde l'intérieur du tube, moitié de platino-cyanuré et moitié d'un vernis noir absolument opaque. En *oo'* se trouve un œilleton qui place l'œil de l'observateur dans une complète obscurité. La caisse étant à parois opaques et renfermant un liquide opaque pour les rayons lumineux, quand il n'y aura plus fluorescence de *pp'* on n'apercevra aucune lueur dans le fond du tube, tandis qu'on verra une plage plus ou moins lumineuse dans le cas contraire.

Restait la question de la solution colorée. Nous avons tâtonné longtemps avant d'arriver à un résultat satisfaisant. La solution d'iode dans le chloroforme éteignait bien la fluorescence mais laissait filtrer une couleur rouge rendant les mesures impossibles. Les violets et les bleus d'aniline, les violets de méthyle offraient le même inconvénient et méritaient la même critique. Ces derniers ternissaient, du reste, le quartz avec la plus grande facilité.

Enfin, nous avons eu l'idée d'employer le sulfate de

cuiivre ammoniacal. Le résultat fut excellent, et c'est avec cette substance que nous avons obtenu les chiffres rapportés plus loin. La solution titrée que nous avons employée pour nos mesures comprend :

SO ⁴ Cu pur.....	100 grammes
Ammoniaque.....	200 centimètres cubes
Eau.....	500 —

En possession de l'appareil, nous avons pu faire une série de déterminations sur diverses sources lumineuses.

SOURCE LUMINEUSE placée à deux mètres de l'actinomètre	INTENSITÉ du courant fourni sous 125 volts	ÉPAISSEUR de la couche de SO ⁴ Cu
Arc pour la photothérapie (Appareil Lortet-Genoud).....	20 Ampères	58 ^{mm} 5
Grand arc pour projections (Charbons verticaux).....	20 Ampères	55.5
Petit arc pour projections (Charbons verticaux).....	7 Ampères	42.5
Soleil, rayons directs à 4 h. 30 du soir (18 Juillet 1902)		79.5

Il résulte de ces mesures, effectuées avec trois modèles d'arcs différents, que les arcs à charbons obliques et à cratère positif dirigé en avant ont un rendement actinique supérieur à ceux dont les charbons sont dans le prolongement l'un de l'autre. Nous regrettons de n'avoir pu comparer des arcs photothérapiques de modèles différents.

Nous avons complété ces premiers résultats, communiqués en août 1902 au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, à Montauban, par des mesures de *précision*, faites dans la *chambre*

noire. On sait que l'œil, dans ces conditions, perçoit beaucoup plus facilement les lumières de faible intensité. On ne s'étonnera donc pas de trouver, pour les arcs, des chiffres beaucoup plus élevés que tous ceux que nous avons trouvés dans nos premières mesures faites à la lumière diffuse du jour.

Nous avons trouvé ainsi les chiffres suivants (1).

SOURCE LUMINEUSE placée à 2 ^m de l'actinomètre	CONSOMMATION horaire en litres	ÉPAISSEUR de la couche de SO ⁴ Cu
Bec de gaz annulaire (<i>bec Bengel</i>); muni de son verre	235	15 mm
	245	18.5
	263	25
	276	29.5
<i>Bec Auer</i> , avec manchon de 60 ^{mm} de hauteur, muni de son verre	80	16 mm
	105	25
	114	28.5
	120	31.8
	INTENSITÉ du courant en Ampères	ÉPAISSEUR de la couche de SO ⁴ Cu
<i>Lampe à incandescence</i> ordinaire à filament de charbon, 125 volts, 16 bougies	0.300	7 mm
	0.325	12
	0.350	16.5
	0.375	22
	0.400	27
	0.425	31.5
	0.450	36

(1) Chaque détermination actinique a été faite après avoir maintenu l'œil observateur pendant 5 minutes dans l'obscurité. Les chiffres obtenus sont la moyenne de deux observations, la première en retirant le tube de l'actinomètre jusqu'à disparition de la lumière, la seconde en l'enfonçant jusqu'à réapparition.

<i>Lampe à incandescence</i> à l'air libre, <i>lampe Nernst</i> , 125 volts	0.300	21 mm
	0.325	24
	0.350	28
	0.375	32.5
	0.400	36.5
	0.425	41
	0.450	44.5
	0.475	48
	0.500	52

SOURCE LUMINEUSE placée à 0.05 centimètres de la lame de quartz qq' de l'actinomètre	FORCE ÉLECTROMOTRICE du courant dans le primaire de la bobine	ÉPAISSEUR de la couche de SO ⁴ Cu
<i>Tube de Geissler</i> , pôle + ...	4 volts	10mm
— — pôle —	—	15.5
<i>Tube de Plücker</i> (à Azote)		
— — pôle + ...	—	17mm
— — pôle —	—	25
— — Partie centrale capillaire	—	29
<i>Tube de Plücker</i> , (à Hydrogène).		
— — pôle + ...	—	12mm
— — pôle —	—	13
— — Partie centrale capillaire	—	21

SOURCE LUMINEUSE	CONSOMMATION horaire en litres	ÉPAISSEUR de la couche de SO ⁴ Cu	PUISSANCE lucimétrique (1) Carrels
<i>Bec Kern</i> , à manchon, mais sans cheminée de verre, placé à 2 ^m de l'actinomètre et du lucimètre.	450	26mm	3.20
	468	30	3.45
	486	38	3.80
	495	42.5	4.00

(1) Les mesures lucimétriques ont été faites avec le *lucimètre* de M. le Professeur Agrégé BORDIER. Cet ingénieux appareil est destiné à rendre les plus grands services pour les mesures de ce genre.

	AMPÈRES	ÉPAISSEUR de la couche de SO^2 Cu	PUISSANCE lucimétrique
1 ^{er} Arc voltaïque. Char-			
bon +, de 15 ^{mm} 5 de	13.5	—	3 Carcels
diamètre. Charbon —,	15	53	—
de 8 ^{mm} de diamètre.	15.5	—	3.50
Charbons inclinés à 90°	19	—	4.80
l'un sur l'autre.	21	62	—
Arc à 5 mètres de l'acti-			
nomètre et à 10 mè-			
tres du lucimètre.			

	AMPÈRES	ÉPAISSEUR de la couche de SO^2 Cu	PUISSANCE lucimétrique
2 ^e Arc voltaïque, char-			
bons inclinés à 105-110°	8.5	—	2 ^e 50
l'un sur l'autre.	14.5	66.5	—
Arc à 5 mètres de l'acti-	15.5	68	4.50
nomètre et à 10 mètres	17	—	4.75
du lucimètre.	19	77	5.25

3 ^e Arc voltaïque, (1)			
charbons dans le pro-			
longement l'un de l'au-	15	43	2 ^e 30
tre.	18	47.5	3.50
Arc à 5 mètres de l'acti-	21.5	54	4.75
nomètre et à 5 mètres			
du lucimètre.			

Soleil, rayons directs,			
28 juin 1904 6 h. 20 m.		98 ^{mm}	

(1) Dans toutes les mesures de sources électriques de radiations la force électromotrice du *courant continu* était de 125 volts.

Aigrette fournie par les courants de haute fréquence.	3A	15 ^{mm}	{	Pour un petit balai
				de fils métalliques
Actinomètre à 10 ^{cm} du point d'émergence de l'aigrette.	Dans le primaire de la bobine de Ducretet, modèle de (25 ^{cm})	15 ^{mm} 5	{	Pour une tige à extrémité arrondie
				Pour une pointe
				formant un angle de 60°

En comparant ces divers résultats, nous voyons d'abord que le *tube de Geissler*, qu'on avait préconisé comme une source de radiations ultra-violettes pures, est une source excessivement faible. Le degré actinométrique du pôle —, est 15,5 c'est à dire le même que celui d'une lampe à incandescence ordinaire alimentée par un courant de 125 volts sous 0 ampère 345 et placé à 2 mètres de l'appareil. Les intensités chimiques des diverses sources variant en raison inverse du carré de la distance à la surface considérée on peut donc écrire en désignant par I l'intensité actinique de la lampe et D sa distance à l'actinomètre, par I' l'intensité du tube et D' sa distance.

$$\frac{I}{D^2} = \frac{I'}{D'^2} \text{ d'où on tire } \frac{I}{I'} = \frac{D^2}{D'^2}$$

et en exprimant D et D' en centimètres :

$$\frac{I}{I'} = \frac{200^2}{5^2} = \frac{40.000}{25}$$

On voit par là que le tube de Geissler émet 1.600 fois moins de rayons chimiques que la lampe. C'est donc une source définitivement condamnée en photothérapie.

Le *bec Auer* diffère peu du bec de gaz ordinaire au point de vue des radiations les plus réfrangibles, mais

la consommation de gaz est plus faible pour le même degré actinique.

Le *bec Kern*, où l'incandescence par le gaz se produit à l'air libre, est moins riche en radiations chimiques que le bec Auer, ce que l'on peut expliquer par l'absence de cheminée de cristal, qui augmente dans le bec Auer le tirage et par suite l'incandescence.

La *lampe à incandescence* comme la *lampe Nernst* ont une radiation actinique qui croît proportionnellement à l'intensité du courant, mais la lampe Nernst a un pouvoir photochimique notablement supérieur. C'est donc à elle qu'on devra s'adresser quand on voudra faire des applications locales de lumière et qu'on ne possèdera pas l'arc électrique.

Mais la source artificielle de beaucoup la plus riche en radiations très réfrangibles est l'*arc électrique*. Nous avons dû reculer l'actinomètre à 5 mètres pour pouvoir faire nos déterminations.

Il y a lieu de remarquer cependant que la puissance actinique est très variable suivant la position respective des deux charbons.

La position la moins bonne est assurément celle où les charbons sont dans le prolongement l'un de l'autre. Le rayonnement chimique, mesuré perpendiculairement à leur axe, est notablement plus faible que lorsque les charbons font un angle de 90°, le charbon négatif étant placé en avant du positif.

Le rendement maximum nous a semblé exister au moment où les deux charbons font un angle voisin de 105° à 110°, avec le charbon positif situé en arrière du négatif et placé dans le même plan vertical.

Quant à l'*aigrette* donnée par les courants de haute fréquence elle fournit plus de rayons chimiques que le tube de Geissler, mais beaucoup moins que l'arc voltaïque.

CHAPITRE X

A). Nécessité des mesures exactes en radiothérapie.

L'agent actif en radiothérapie.

Nous avons vu M. le Dr MARIE (75 bis) réclamer la nécessité de mesures exactes en photothérapie sans lesquelles on ne peut faire que de l'à peu près et rester dans le domaine de l'empirisme. En radiothérapie, l'importance de la mesure, du dosage de l'agent thérapeutique employé est d'autant plus importante que le médecin n'a pas à sa disposition une réaction inflammatoire immédiate pour juger de l'effet du remède. Tous les auteurs sont d'accord pour affirmer que les accidents de radiodermite aiguë ont un caractère commun ; ils ne surviennent jamais qu'après une période d'incubation plus ou moins longue variant de dix à quinze jours jusqu'à trois semaines et plus. Comment savoir alors si l'on n'a pas dépassé la dose tolérable

par le sujet, si l'on n'est pas déjà en imminence d'un véritable désastre là où on ne recherchait qu'amélioration et guérison ? Et ne faut-il pas avoir, je ne dis pas de l'audace, mais même de la témérité, pour soumettre son client à un traitement hasardeux qui peut amener une destruction totale de la peau s'accompagnant, surtout au début, de douleurs atroces et causant des ulcérations profondes, torpides, suintantes, sans tendance à la réparation souvent pendant plus d'un an !

Les premiers opérateurs, FREUND d'abord, puis bientôt après SCHIFF, suivis par de nombreux imitateurs, connurent les aléas et les mécomptes de la radiothérapie. Les réactions inflammatoires parfois énormes se manifestaient avec un imprévu et une irrégularité qui déconcertaient. Quelquefois, après deux ou trois séances, radiodermite intense ; beaucoup plus souvent, aucun résultat après soixante, quatre-vingts, cent expositions. En vain, on faisait intervenir l'idiosyncrasie du sujet, toujours l'éternelle histoire des grands mots pour masquer l'ignorance des causes véritables.

STRATER (551) devait apporter sur cette question la lumière, mais combien d'opinions avaient été émises sur le sujet et combien contradictoires.

Nous allons les passer rapidement en revue, car l'histoire des tâtonnements d'une science présente bien son intérêt. Ce n'est, du reste, qu'après être parfaitement fixé sur la *nature de l'agent efficace* en radiothérapie que nous pourrons songer à le doser.

Mettons en tête de ces théories ceux qui croyaient que les rayons X possédaient en eux-mêmes une éner-

gie spéciale capable de produire des modifications de la matière vivante et par suite des effets thérapeutiques. JUTASSY (508), KÜMMEL (513), GASSMANN et SCHENKEL (504), RIEDER, COWL, FORSTER, ALBERS SCHÖNBERG étaient de cette école qui compta encore parmi ses membres SCHIFF et FREUND jusqu'en 1898. Mais déjà l'accord n'existait plus quand il fallait faire choix d'une ampoule de Crookes. Les uns la voulaient molle parce qu'alors elle donnait des rayons peu pénétrants, très absorbables par les tissus, d'autres se faisaient les champions de l'ampoule dure dont les rayons allaient agir dans la profondeur des tissus malades sans influencer les couches superficielles.

KAPOSI et CROOKES rapprochaient les lésions cutanées produites par la lumière solaire de celles causées par les rayons X. Ils expliquaient cette analogie en regardant les rayons de Röntgen comme des rayons ultra-violets. L'action de ces deux radiations sur la peau n'est cependant pas identique et M. DESTOT, de Lyon, indiquait dans un compte-rendu à l'Académie des Sciences (496) qu'on notait, entre autres différences, la période souvent fort longue de latence qui s'écoule entre l'exposition aux rayons X et les accidents de radiodermite. Cette sorte d'incubation n'existe pas pour les rayons ultra-violets et les rayons solaires.

G. ROSENFELD et TESLA (552) attribuaient à l'ozone l'action nocive des radiations nouvelles. L'ozone agirait d'autant mieux que la peau serait plus humide et plus chaude. Mais les rayons X ne produisent pas d'ozone et l'odeur caractéristique que l'on perçoit est due aux effluves s'échappant des fils ou passant

autour du tube. D'autre part, malgré les expériences de LABBÉ et LAGRANDE, HÉNOCQUE, OUDIN, BING, SCHULTZ et BORDIER qui ont prouvé qu'une trop grande quantité d'ozone pouvait devenir toxique et causer des lésions des muqueuses et des poumons, jamais on n'a pu obtenir avec lui, sur la peau, des lésions comparables, même de loin, à celles produites par les rayons X.

TESLA et F. GILCHRIST proposaient encore une autre explication. Les tissus vivants étaient bombardés par des atomes métalliques arrachés aux électrodes d'aluminium. Mais, outre que les accidents peuvent très bien se produire avec les tubes actuels qui ont leur anticathode en platine, le métal désagrégé ne sort pas de l'ampoule dont le poids reste invariable, même après un long usage. De plus, ainsi que l'a montré OUDIN, même en admettant l'existence de ce bombardement métallique, il ne peut avoir aucune action nocive. Il a pu, se servant d'une effluve de résonnance de grande puissance, tatouer la peau jusque dans la profondeur de l'épiderme; il a vu les électrodes employées perdre rapidement de leur poids et cependant il n'a jamais observé aucune lésion comparable à celles produites par les rayons X. (Société d'électrothérapie, mars 1894).

Une hypothèse originale était celle de Ch. Ed. GUILLAUME. Les cellules vivantes seraient bombardées par les corpuscules négatifs qui constituent les rayons X selon l'hypothèse de J. J. Thompson. La forme de gravitation des atomes des cellules vivantes serait ainsi changée, le potentiel statique moléculaire du bioprotéon lui-même modifié, d'où la nécrobiose consécutive.

Mais ce que toutes ces théories laissent dans l'ombre, c'est justement le point important et original, les lésions tardives que l'on voyait se manifester et qu'aucune des causes invoquées plus haut ne permet d'expliquer.

L'électricité fut incriminée, et c'était assurément sur ce fluide que le plus grand nombre d'auteurs se rejetaient, déniaient toute action aux rayons de Röntgen.

LOUDIN, BARTHÉLEMY et DARIER (532) soutenaient que le tube mettait en jeu deux énergies :

1° Un champ électro-statique oscillant, très énergétique, qui entoure l'ampoule. Tous les objets contenus dans cette zone doivent être sujets à des oscillations très énergiques modifiant la vitalité cellulaire ;

2° Un champ magnétique oscillant mis en évidence par Karda autour de l'ampoule de Crookes.

FOVEAU DE COURMELLES, BALTHAZARD, DESTOT, SCHALL, (542), TARSHANOFF, professaient des opinions analogues. Voici, du reste, un fait d'observation courante bien propre à justifier jusqu'à un certain point leur avis. Quand on fait fonctionner un tube à rayons X, on sent, si on vient à en approcher la main, comme un léger frôlement accompagné d'un frémissement tout à fait remarquable. La sensation devient plus nette si l'on diminue la fréquence des interruptions du courant primaire lancé dans le transformateur. Vient-on à placer un sujet devant le tube et assez près de lui, on sent, en touchant son épiderme, de petites pulsations synchrones aux battements de l'interrupteur. On peut même tirer d'un point quelconque du corps du patient de petites étincelles.

La raison des modifications trophiques que l'on observait dans les tissus, leur mortification dans les cas les plus graves n'était autre que cette succession rapide de charges et de décharges auxquelles le corps était soumis.

Les preuves semblaient concluantes. En effet, les lésions étaient d'autant plus graves que le courant primaire était plus puissant. Ainsi on n'observait aucun accident avec la machine statique dont le débit est faible, bien rarement avec les accumulateurs, souvent au contraire avec les puissants courants des secteurs industriels d'électricité.

Confiants dans cette théorie (qui semblait si bien assise que SCHIFF et FREUND abandonnaient pour elle, en 1899, le parti de ceux qui plaidaient pour l'action des rayons Röntgen) les radiographes recommandaient les *tubes mous* pour éviter tout accident. En effet, plus une ampoule est dure, plus le champ électrique et les décharges latérales qui l'entourent sont puissants. Elle devait donc être dangereuse et d'autant plus qu'on la plaçait plus près des tissus, le champ électrique croissant, comme on sait, en raison inverse du carré des distances.

M. le professeur agrégé BORDIER, de Lyon, dans deux communications à l'Académie des Sciences les 18 et 25 juin 1899 (130) expliquait l'action des rayons X sur la peau par des phénomènes électrolytiques et son élève, le docteur B. SALVADOR (166) arrivait dans sa thèse inaugurale aux mêmes conclusions. C'était du reste la même idée que l'on retrouve dans la thèse du docteur SCHALL (542) soutenue l'année précédente (1898)

Les expériences de MM. Bordier et Salvador, nombreuses et originales, semblaient terminer toute discussion. Les rayons X étaient mis hors de cause, puisque « les tubes en activité donnent lieu à des actions électrolytiques qui ont à peu près la même intensité, que les rayons X soient ou non envoyés sur l'électrolyte. » La preuve, c'est que l'effluve à haute tension produite par la décharge dans l'air de la bobine d'induction, donne lieu, elle aussi, à une action électrolytique de même ordre de grandeur que les précédentes, et à un érythème léger » et le docteur SALVADOR ajoute : « L'action électrolytique est produite non par les rayons X, mais par la décharge dérivée à l'extérieur du tube et provenant de l'onde induite de rupture. Cette action ne se fait pas sentir avec la machine statique. »

MM. BORDIER et SALVADOR me permettront les critiques suivantes que m'a suggérées la lecture attentive de leurs travaux.

1° Ils admettent d'abord que les phénomènes électrolytiques produisent sur la peau placée au voisinage du tube un « léger érythème ». Il y a loin de là à la radiodermite avec toutes ses conséquences.

2° L'électrolyse des tissus serait produite dans le cas de l'ampoule de Crookes par un courant inférieur à 1/20 de milliampère. Or je crois pouvoir affirmer qu'on n'obtiendra jamais d'accident même léger avec cette dose minime j'allais dire homœopathique d'électricité. Cela est si vrai que dans la terrible névralgie du trijumeau on peut faire traverser la face du patient par des courants de 50 à 80 milliampères, c'est-à-dire 1000 à 1600 fois plus intenses, pendant une heure tous les

jours et pendant plus d'un mois, sans jamais noter quoi que ce soit qui, de près ou de loin, puisse rappeler une radiodermite même commençante.

3° L'effluve à haute tension est dans le même cas. On peut impunément soumettre pendant des mois, à raison de vingt minutes tous les deux jours, le visage de sujets délicats à l'effluve de haute fréquence ou de haute tension sans constater autre chose qu'un peu de rougeur et la guérison de l'acné, de la séborrhée ou de l'eczéma pour lesquels ils venaient se faire soigner. Du reste, l'action thérapeutique de l'effluve revient bien plutôt aux rayons ultra-violets et à l'ozone qu'aux phénomènes électrolytiques très légers qui peuvent se passer en face d'elle.

4° La machine statique donne aussi bien que la bobine des radiodermes. La meilleure preuve c'est que plusieurs hôpitaux parisiens où l'on fait de l'épilation par les rayons X et de la radiothérapie ne se servent pas d'autre appareil que la machine statique à plateaux multiples.

5° « L'emploi d'un écran métallique, feuille d'aluminium reliée convenablement au sol et placée entre le sujet et le tube, arrête toute action sur la peau », ajoute en terminant le docteur SALVADOR et c'est ce moyen qu'il indique pour éviter les radiodermes. Nous verrons que les expériences faites par KIENBÖCK et OUDIN chacun de leur côté ont, en 1900, complètement modifié l'opinion sur ce point.

Du reste, l'électrolyse n'explique pas tout et le docteur SALVADOR entrevoyant ce qui allait devenir bientôt la vérité ajoute : « Peut-être aussi un autre facteur

intervient-il pour rendre plus profondes les lésions cutanées et les perturbations dont les nerfs trophiques de la peau sont le siège ; et ce facteur semble être l'action des radiations de très petite longueur d'onde qui constituent les rayons X eux-mêmes ».

La question en était là, quand se réunit à Paris du 27 juillet au 1^{er} août 1900 le Congrès d'Electrologie et de radiologie médicales. SCHIFF et FREUND dans leur rapport sur l'état actuel de la radiothérapie, attribuaient à l'électricité les effets thérapeutiques obtenus. Les décharges électriques pouvaient se produire sous forme d'étincelles ou sous forme invisible, leur effet était le même. M. BERGONIÉ, de Bordeaux, se préoccupant de l'état de l'ampoule, ajoutait : « Lorsque je me sers d'un tube mou, ne donnant sur sa surface aucune effluve et dont on peut approcher la main sans sentir le souffle sur les doigts, on obtient de bonnes radiographies et pas d'accidents. Au contraire, avec un tube dur donnant des rayons très pénétrants, produisant autour de lui des dérivations par l'air, vers le sol, la malade ou les objets environnants, on a des accidents et probablement les effets thérapeutiques utilisés par M. SCHIFF. Quant à garantir l'absorption de ces rayons X par les tissus et à trouver là la cause de leur action, cela me paraît difficile, car les rayons les moins absorbés sont les plus nocifs ou les plus efficaces au point de vue thérapeutique ».

Cet avis était loin d'être partagé par WERTHEIMER-SALOMONSON (d'Amsterdam) qui apportait dans cette discussion sa grande expérience en radiothérapie. Il disait :

« On sait qu'en général les ondes lumineuses, absorbées par un milieu quelconque, sont transformées en une autre forme d'énergie, en chaleur et en action chimique, c'est pour cela surtout que les rayons ultra-violets produisent un effet sur la peau.

« Les rayons X, provenant d'un tube dur, sont absorbés beaucoup moins que ceux produits par des tubes mous. Ce sont surtout ces derniers qui nous donnent les meilleurs résultats dans le traitement du lupus de la face. En effet, j'ai pu constater qu'avec une même quantité d'énergie électrique actionnant un tube mou, on a beaucoup plus d'effet sur la peau humaine qu'avec un tube donnant des rayons extrêmement pénétrants. »

On voit quelle distance séparait MM. BERGONIÉ et WERTHEIMER-SALOMONSON ! Ce dernier cependant était sur la bonne voie. Bientôt STRATER à Berlin, KIENBÖCK à Vienne et OUDIN à Paris devaient déchirer le voile mystérieux qui entourait l'agent efficace en radiothérapie et montrer qu'il n'était autre que les rayons X eux-mêmes.

En effet, dès le mois d'août 1900 le docteur STRATER, de l'Institut Immelmann de Berlin, montrait que parmi les radiations d'un tube de Crookes les unes traversaient le corps sans l'impressionner, les autres agissaient activement sur lui parce qu'elles étaient absorbées presque totalement et transformées en énergie chimique (551).

A la fin de 1900, Robert KIENBÖCK (511), publiait à son tour le résultat de ses observations et de ses recherches personnelles. Elles étaient concluantes,

et elles détruisaient complètement cette erreur qui était presque devenue un axiome que plus une ampoule est résistante, plus il passe de courant autour d'elle et plus les chances d'accidents sont grandes.

Dans cinq observations, pour le détail desquels nous renvoyons au travail de l'auteur cité dans le traité de radiologie de M. BOUCHARD (132 bis, p. 1055), les malades soumis *impunément* pendant de longues séances à l'action d'un *tube dur*, présentèrent des phénomènes de *radiodermite* aiguë dès l'emploi d'un *tube mou*. Ce que plus de 80 séances n'avaient pu déterminer avec le tube dur éclata soudainement avec le second, à tel point « qu'on fut obligé du jour au lendemain de cesser tout traitement. »

Le même auteur, continuant ses expériences, montrait sur les animaux que le tube mou était bien le tube vraiment actif. Il indiquait l'emploi d'un écran en plomb pour limiter aux seules parties malades l'action des rayons nouveaux. Il allait même plus loin, et ruinait définitivement l'explication des radiodermes par l'action de l'électricité émanant du tube. En effet, « si on place, disait-il, au-dessus de la peau un tube disposé de telle sorte que le plan du miroir anticathodique soit perpendiculaire à la surface du derme, la dermatite ne se produit que dans la partie éclairée par l'hémisphère brillant; derrière le miroir, le tube est obscur, et la place répondant à cette région est indemne; les deux régions sont séparées par une ligne très nette répondant à l'intersection du plan du miroir avec la peau. Les décharges électriques ne s'arrêtent cependant pas à cette ligne, mais se répandent égale-

ment sur toute la surface de la peau, tandis que la dermatite ne se produit que dans la partie éclairée par les rayons X. »

Les travaux du Dr OUDIN, (527 à 531) qui ignorait les belles recherches de Kienböck, les complétaient sur certains points et faisaient disparaître jusqu'au moindre doute si quelques esprits en avaient pu encore conserver. OUDIN interposait entre l'ampoule et la peau des écrans les uns isolants, les autres métalliques. Les premiers (celluloïd, ébonite, verre) n'empêchaient en rien la radiodermite quoique s'opposant au passage de l'électricité. Parmi les seconds, les écrans d'aluminium même reliés parfaitement au sol et par conséquent soustrayant la peau à l'action de l'électricité, laissaient la radiodermite se produire au-dessous d'eux. Il est vrai que les rayons X traversent parfaitement l'aluminium. Dans le cas d'une lame de plomb de même épaisseur on ne voyait au contraire ni érythème ni inflammation des téguments. Ici les rayons X étaient arrêtés.

Restait à faire agir le tube sur le même sujet avec les deux écrans mis à côté l'un de l'autre. OUDIN fit river deux lames de même épaisseur, de plomb et d'aluminium, qui formaient, au point de vue électrique un écran parfait. Pour s'en assurer, il plaça derrière un électroscope à feuilles d'or, puis un électromètre capillaire de Lippmann et cribla l'autre face avec l'effluve d'une puissante machine statique, ou d'un résonnateur de haute fréquence. Il n'y eut ni oscillation de la colonne de mercure, ni la moindre elongation des feuilles d'or de l'électroscope. Un tube de Röntgen en activité

placé tout contre l'écran ne donna pas de meilleurs résultats sur les appareils de mesure. Dans toutes ces expériences la lame était soigneusement reliée au sol. Après s'être ainsi assuré de l'impénétrabilité absolue de cette lame par l'électricité, il la plaça entre une ampoule de Crookes et le flanc d'un lapin. Or l'animal eut une violente radiodermite dans la partie placée sous l'aluminium, transparent pour les rayons X, tandis que le plomb, opaque aux mêmes rayons, garantit la peau contre toute trace d'altération (1). La cause de l'électricité était jugée.

On n'a qu'à se reporter à ce que nous disons ailleurs des rayons de Becquerel pour être convaincu qu'il s'échappe d'un tube de Röntgen des radiations analogues à celles que les substances radio-actives produisent sans l'intervention d'aucune énergie électrique.

Nous pouvons conclure maintenant, avant d'aborder la mesure de cette énergie hier encore inconnue, que les rayons de Röntgen sont l'agent efficace en radiothérapie. Sont-ils le seul? Je ne le crois pas et je me range à l'avis de ceux qui leur adjoignent : 1° les rayons cathodiques diffusés par l'anticathode ; 2° les rayons secondaires émanant de la paroi de verre frappée par les rayons cathodiques diffusés. L'avenir nous dira je l'espère bientôt le rôle de chacune de ces radiations sur le bioprotéon et sur les êtres vivants.

(1) SCHOLTZ, de Breslau, expérimentant sur le porc arriva aux mêmes résultats.

B. Appareils de mesure utilisés en radiothérapie

Doser en quelque sorte la quantité de rayons X que l'on fait agir sur les tissus, en déterminer la qualité de façon à prévoir leurs effets, voilà le délicat problème que se sont posés les chercheurs. Nous allons voir que leurs recherches ont été couronnées de succès et que nous possédons quatre procédés pour mesurer l'action des radiations de Röntgen :

- 1° Le spintermètre ;
- 2° Le radiochromomètre de Benoist ;
- 3° Le chromo-radiomètre de Holzknecht ;
- 4° Le radiomètre de L. Freund.

C'est dans cet ordre que nous présenterons ces appareils. Nous ferons suivre chaque description d'une partie critique, nécessaire pour montrer que la perfection n'est pas encore atteinte, et que la carrière reste belle pour ceux qui veulent faire sortir définitivement la radiothérapie des tâtonnements et de l'empirisme.

1. Spintermètre. — Les ampoules de Villard à osmo-régulateur, les tubes de Müller à régulateur électrique permettent de faire produire à une ampoule des rayons plus ou moins pénétrants. Pour juger de l'état du tube à chaque instant et du degré de pénétration des rayons qu'il fournit, on a imaginé un petit appareil dont le nom signifie mesureur d'étincelle ($\sigma\pi\iota\nu\theta\acute{\iota}\lambda\eta\rho$ = étincelle ; $\mu\epsilon\upsilon\rho\acute{\epsilon}\omega$ — $\tilde{\omega}$ = mesurer).

Cet instrument, qui fait maintenant partie de toute installation radiothérapique sérieuse, se compose de

deux tiges terminées par des pointes ou mieux par des sphères de dimensions déterminées A et B que l'on place en dérivation sur le circuit comprenant le tube.

Pour mesurer ce qu'on nomme *l'étincelle équivalente* du tube, rien de plus facile. Pendant que le tube fonctionne, on rapproche peu à peu A de B jusqu'à ce

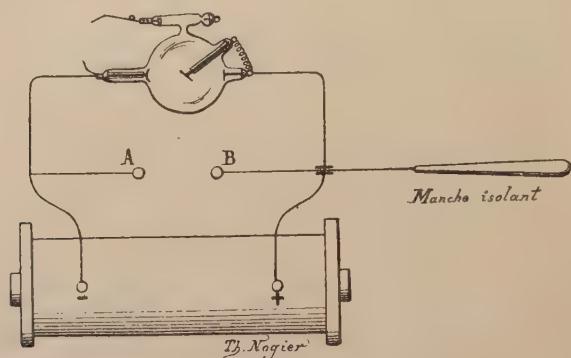


Fig. 17. — Montage du spintermètre.

qu'une étincelle éclate entre les deux sphères. A ce moment précis, on voit le tube cesser de s'illuminer. La décharge a donc pris le chemin le plus facile, à travers l'air qui sépare A et B, et l'on peut dire que la longueur de l'étincelle observée équivaut à la résistance du tube. On comprend qu'elle caractérise l'état d'un tube donné, puisqu'elle indique que la décharge aime mieux, à ce moment, se produire sous forme d'étincelle dans le circuit dérivé que de traverser le tube.

On a, de cette manière, le moyen quasi instantané de savoir si les rayons produits par une même ampoule sont plus ou moins pénétrants que la dernière

fois qu'on a fait fonctionner l'appareil. Si l'on a obtenu de bons résultats avec un tube ayant 5 centimètres d'étincelle équivalente, rien n'est plus simple que de le maintenir à ce degré au moyen de l'osmo-régulateur de Villard ou du régulateur électrique de Müller.

M. le Dr BÉCLÈRE de Paris (117) a fait construire par Drault un spintermètre très commode pour les usages radiothérapiques. Les modèles ne manquent pas du reste, et nous citerons entre autres celui du docteur DESTOT, de Lyon, qui fut un des premiers, sinon le premier et celui du docteur CHANOT.

Cependant, comme l'a fait observer le docteur A. BROCA, de Paris, il ne faudrait pas accorder une trop grande valeur aux indications du spintermètre. On ne peut comparer entre eux avec sécurité au moyen de leur étincelle équivalente, que deux tubes *identiques* comme *forme* et comme *dimensions*, et fournis par le *même constructeur*. Agir autrement serait s'exposer à de graves mécomptes, je n'en veux pour preuve que l'observation publiée par Miss MARGARET M. SCHARPE. Deux tubes ayant une même étincelle équivalente (the parallel spark) de 10 centimètres environ s'étaient montrés l'un très actif sur la peau, l'autre complètement inactif. Cependant le générateur électrique était le même, le montage identique dans les deux cas, de même que la distance qui séparait l'ampoule des témoins.

La question de l'ampoule est donc très importante. Je dois en ajouter deux autres.

1° Pour se servir utilement des données du spintermètre, il faut consulter l'ampèremètre et le voltmètre

qui mesurent le courant distribué dans le primaire du transformateur et le régler avec un rhéostat de façon à le maintenir toujours identique à lui-même, si l'on veut se placer dans les mêmes conditions. En effet, dit encore M. BROCA (123 bis, p. 250), « quand on cherche l'étincelle équivalente pour un tube donné en modifiant la puissance de la bobine, on s'aperçoit que l'étincelle augmente parfois énormément quand la puissance dépensée dans la bobine augmente elle-même. J'ai vu souvent l'étincelle équivalente d'un tube passer de 7 ou 8 centimètres, pour une dépense de 5 ampères sous 20 volts environ au primaire, à 15 ou 18 centimètres pour une dépense de 15 ampères sous 60 volts. »

2° La longueur d'étincelle équivalente, indiquée par le spintermètre, n'a de valeur que si on spécifie l'état de l'extrémité des conducteurs. En effet, MASCART a depuis longtemps montré que, pour une même résistance, la longueur de l'étincelle équivalente varie selon que les extrémités polaires du spintermètre sont des pointes ou des sphères. Dans le cas des sphères on n'a qu'à augmenter leur diamètre pour voir croître le potentiel correspondant à une même distance explosive.

Le tableau suivant permettra de se rendre compte de l'influence du diamètre des boules polaires sur la valeur du potentiel, la longueur d'étincelle restant la même.

On pourra, avec un peu d'attention et de soin, éviter ces deux dernières causes d'erreur ; quant à celle qui tient à l'ampoule elle-même, on ne peut l'éliminer.

DISTANCES EXPLOSIVES Longueurs des étincelles	DIFFÉRENCES DE POTENTIEL. EXPRIMÉES EN VOLTS	
	Sphères de 1 cent.	Sphères de 2,2 cent.
0,4 cent.	4.830	5.490
0,5 »	16.890	26.730
1 »	25.440	48.600
1,5 »	»	57.000
2 »	31.000	76.800
5 »	45.900	»
6 »	»	101.400
9 »	»	115.800
10 »	56.100	»
12 »	»	124.200
15 »	61.800	»

Force est donc d'adjoindre au spintermètre un nouvel appareil : le radiochromomètre de M. Benoist.

2. Radiochromomètre de L. Benoist. — Parmi les rayons de Röntgen, il en est d'une qualité déterminée qui agissent sur la peau tandis que les autres sont peu ou pas actifs. M. BÉCLÈRE a mis ce fait en lumière dans sa communication du 9 janvier 1902 à la Société de dermatologie (118).

« La *quantité* de rayons de Röntgen, dit-il, qui entrent en jeu dans une cure radiothérapique varie avec la *quantité d'énergie électrique* à laquelle l'ampoule de Crookes donne passage dans un temps donné, avec la *distance de l'ampoule* à la peau, avec l'*incidence des rayons* sur la surface cutanée, avec le nombre des expositions, avec la durée de chaque exposition. C'est un facteur qui n'est certes nullement négligeable ; mais ce n'est pas le plus important.

« Le *facteur capital* en radiothérapie, c'est la *qualité* des rayons employés. Il existe, en effet, toute une série, toute une échelle de rayons de Röntgen, distincts les uns des autres par leur inégal pouvoir de pénétration, depuis des rayons très pénétrants, impuissants à traverser les parties molles de la main, jusqu'à des rayons ultra-pénétrants, capables de transpercer une plaque de fer de plusieurs millimètres d'épaisseur. »

M. BENOIST (124), après de longues recherches sur la transparence de la matière pour les rayons X, a imaginé un petit appareil permettant de classer les rayons de Röntgen d'après leur inégal pouvoir de pénétration. Grâce à son *radiochromomètre*, rien n'est plus facile que de déterminer la qualité des rayons fournis pour une ampoule en activité. Voici comment son inventeur s'exprime à son sujet :

« Le nom choisi exprime que l'on définit quelque chose (radiochromisme) d'analogue à la coloration que peuvent présenter soit une source lumineuse, soit un corps transparent et éclairé, selon la qualité moyenne des rayons lumineux que cette source fournit ou que corps laisse passer.

« La forme la plus simple du radiochromomètre est celle d'un disque d'aluminium divisé en 12 secteurs dont les épaisseurs vont en croissant régulièrement depuis 1^{mm} jusqu'à 12 millimètres. Au centre, est une ouverture occupée par un disque d'argent de 0^{mm},11 d'épaisseur, représentant l'équivalent de ce dernier métal vis-à-vis de 75 millimètres de paraffine, et pour des rayons X moyens. On définira les rayons X employés par le numéro du secteur d'aluminium dont la

transparence égale celle du disque central d'argent. C'est ainsi que des rayons X de dureté moyenne donneront 6, des rayons X beaucoup plus nous donneront 2, etc., » (132 bis, p. 402).

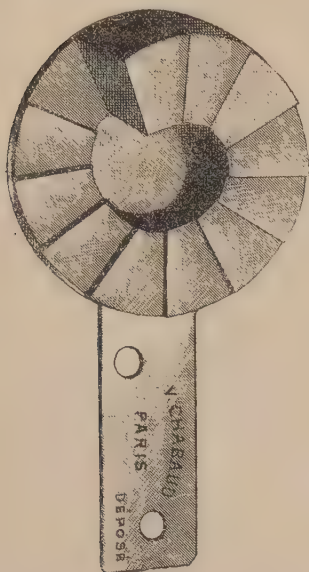


Fig. 18. — Radiochromomètre de M. L. Benoist. (1)

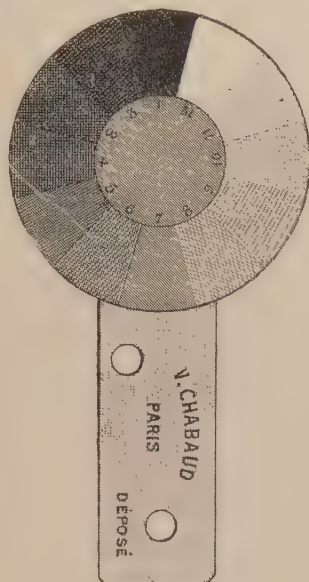


Fig. 19. — Aspect d'une Radiographie du Radiochromomètre, vue du côté gélatine. Sur l'écran fluorescent, l'aspect sera inverse, c'est-à-dire que les chiffres et les secteurs correspondants seront vus dans le même sens que les heures d'une montre.

Lorsqu'on opère sur une ampoule donnée, on peut être assuré, ainsi que l'ont prouvé de nombreuses expériences, que le degré radiochronométrique reste le même à quelque moment que l'on mette l'ampoule en activité, pourvu que le courant reste le même et

(1) Nous remercions sincèrement la maison V. Chabaud d'avoir bien voulu mettre gracieusement à notre disposition les clichés ci-dessus.

donne en spintermètre une longueur d'étincelle déterminée

Il est facile de voir qu'avec une ampoule d'une autre fabrication le degré radiochromométrique varie, toutes les autres conditions restant égales d'ailleurs.

3. Chromo-radiomètre de Holtzknecht. — La qualité, j'allais dire la couleur, des rayons de Röntgen est facile à déterminer à l'aide des instruments que nous venons de décrire, reste maintenant l'évaluation de la *quantité* de rayons absorbés. Cette notion que M. BÉCLÈRE, jugeait importante mais de second ordre pourrait bien être *capitale* en radiothérapie. Le Dr Robert KIENBÖCK, à la suite de nombreuses et délicates expériences, a établi en effet cette loi : « le degré d'intensité de la « radiodermite dépend essentiellement de la quantité « de rayons qui frappe la peau, c'est-à-dire, en somme, « de la quantité de rayons absorbée par la peau (511) ».

Cette quantité est fort difficile à mesurer. Il faut connaître la distance de l'anticathode aux téguments, l'angle que font les rayons incidents avec la peau, la durée efficace d'exposition, les interruptions du courant primaire, la façon dont est construite la bobine et son coefficient de transformation, car tous ces facteurs font varier la quantité de rayons Röntgen qui émanent de l'ampoule.

On voit d'ici la presque impossibilité où l'on se trouvait de mesurer autre chose que la qualité des rayons émis lorsque le docteur HOLTZKNECHT, de Vienne, est venu apporter la solution du problème (149 et 149 bis).

Utilisant d'une part la loi de Kienböck dont nous

avons parlé plus haut et d'autre part les recherches de Goldstein, de Berlin, il a imaginé le chromoradiomètre.

GOLDSTEIN (146) avait montré, nous l'avons dit plus haut, que les rayons cathodiques font éprouver à certains sels métalliques des changements de coloration, du moins à leur surface. Ainsi le chlorure de sodium se colorait en jaune, le bromure en bleu. Cette coloration disparaissait peu à peu avec le temps et on pouvait activer la décoloration soit par la lumière, soit préférentiellement par la chaleur.

En reprenant ces expériences, HOLTZKNECHT (149) vit que les rayons X opéraient de même, mais coloraient dans la masse certains sels et donnaient à une épaisseur donnée de la substance choisie une coloration d'intensité proportionnelle à la *quantité* de rayons absorbés.

Le chromoradiomètre utilise une substance dont la composition est tenue secrète. Il a été présenté au deuxième Congrès international d'électrologie et de radiologie médicales tenu à Berne, en septembre 1902, par son inventeur, et par M. BÉCLÈRE à la Société de dermatologie et de syphiligraphie le 6 novembre 1902.

« Le chromoradiomètre d'HOLTZKNECHT que je vous présente, disait-il, se compose de deux parties : 1° une série de réactifs isolés ; 2° une échelle graduée qui sert d'étalon.

« Chaque réaétif consiste en sels colorables par les rayons de Röntgen, incorporés dans une substance transparente et contenus dans un petit godet. C'est ce

godet qu'on place, au cours des opérations radiothérapiques, sur la peau du patient, tout au voisinage de la région à traiter, de manière qu'il reçoive et absorbe la même quantité de rayons que celle-ci. Ainsi, pour

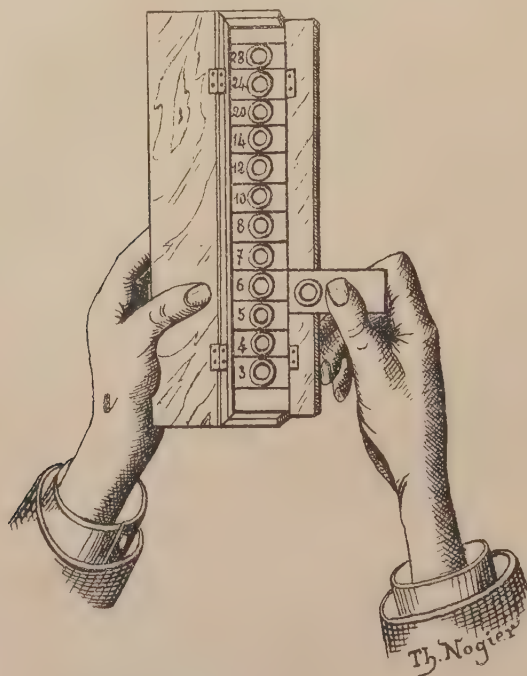


Fig. 20. — Chromoradiomètre de Holtzknecht.

chaque nouveau cas à traiter, on fait usage d'un nouveau réactif ; le carton sur lequel est fixé le godet de sels colorables est destiné à recevoir les notes concernant le malade.

« L'échelle graduée est formée de douze godets du même genre, enfermés dans une boîte qui les préserve de la lumière, en présentant une coloration bleu-vert

dont l'intensité s'accroît graduellement d'un bout à l'autre de la série. A chaque degré de l'échelle se trouve un chiffre qui indique la quantité de rayons absorbée, d'après une unité que l'inventeur a choisi et que, sans la définir, il désigne par la lettre H.

« La règle générale pour l'emploi de cet instrument est de placer dans chaque cas un réactif tout au voisinage de la région à traiter et d'interrompre de temps à autre l'irradiation, dans le but de comparer la coloration du réactif à l'échelle qui sert d'étalon, jusqu'à ce qu'il ait atteint précisément le degré de coloration désiré.

« Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de l'obtenir en une seule séance ; mais, en attendant une séance nouvelle, il faut conserver dans l'obscurité le réactif qui vient d'être employé. On doit savoir que si la première et la dernière séance sont éloignées de plus de cinq jours, il convient d'atteindre une coloration un peu plus intense parce que, dans l'intervalle, la peau a eu le temps de se remettre en partie des impressions, encore invisibles, qu'elle a reçu des rayons de Röntgen.

« Quant à la quantité de rayons, qui doit être absorbée dans chaque cas particulier, elle est essentiellement variable. Elle varie, en effet, suivant l'âge du sujet, suivant la région de la peau, suivant que cette région présente ou ne présente pas de phénomènes inflammatoires, suivant la nature du processus pathologique dont elle est le siège et suivant qu'on se propose de l'irriter très légèrement, de la dépiler ou de détruire les productions morbides qu'elle contient.

« Les avantages de cette nouvelle méthode sont si évidents qu'il suffit de les énumérer. Par sa sûreté, par la facilité de son apprentissage et de son manie-
ment, elle met la radiothérapie à la portée de tous les médecins qui s'occupent des affections cutanées et de leur traitement. Par la possibilité qu'elle donne d'atteindre rapidement et de ne pas dépasser la dose thérapeutique, elle abrège la durée des cures par les rayons de Röntgen, et réduit au minimum les risques des divers genres que ces cures entraînaient pour les malades et pour les médecins à la fois. Enfin, grâce à la comparaison qu'elle permet entre les observations de toutes provenances, et à la commune mesure qu'elle fournit, on peut prédire que la radiothérapie lui devra ses futurs perfectionnements. C'est seulement avec son concours qu'on pourra déterminer exactement le degré de réaction cutanée qui convient le mieux au traitement de chaque processus pathologique, la quantité de rayons que réclament dans ce but les différentes régions de la peau, les différents âges, les différents états morbides, enfin le mode d'absorption, à doses massives ou à doses fractionnées et diversement espacées, capables de donner dans chaque affection les résultats les plus favorables. »

Résultats fournis par le chromo-radiomètre. — Nous donnerons, suivant le docteur HOLTZKNECHT lui-même, l'indication des doses qu'il convient de ne pas dépasser pour ne pas obtenir d'accidents.

Ce tableau demanderait à être vérifié et surtout complété par les expériences de nombreux observateurs

mais, tel qu'il est, il peut rendre desservices. Il montre qu'il ne faut pas dépasser une dose mensuelle de

RÉGION TRAITÉE	UNITÉ POUR CHAQUE RÉACTION	
	RÉACTION DU 1 ^{er} DEGRÉ (épilation simple, presque sans apparence de réaction)	RÉACTION DU 2 ^e DEGRÉ (érosion superficielle sans ulcération véritable, et guérison sans cicatrice)
Peau du visage (jeunes sujets)	3 unités H	5 à 7 unités H
Peau du visage (sujets plus âgés)	4 unités H	5 à 7 unités H
Surface de flexion des jointures	4 à 6 unités	6 à 8 unités
Surface d'extension des jointures, tronc, cuir chevelu, paume des mains, plante des pieds,	5 à 7 unités	7 à 10 unités

10 unités H sous peine d'obtenir des radiodermites graves guérissant lentement et difficilement.

Critiques à adresser à l'appareil. — Malgré les services que peut rendre le radiochromomètre il n'est pourtant pas exempt de critiques. Voici celles que formule le docteur H. HUGUIER (150 p. 59 et 59) dans l'intéressante thèse qu'il a faite sous la direction du docteur BÉCLÈRE. « Il y a d'abord l'appréciation des teintes qui présente une certaine difficulté : les différences de ton entre chaque godet de l'échelle étalon ne sont pas très accentuées et on est souvent bien embarrassé pour classer le godet en expérience. » Cette critique est sérieuse et suffit à exclure l'appareil de la catégorie des instruments de précision. Deux ou trois unités en plus ou en moins ne sont pas une quantité négligeable comme l'indique le tableau ci-dessus.

« En outre, lorsqu'on a recours à des rayons peu pénétrants très actifs, . . . il faudrait à chaque instant arrêter l'irradiation pour se reporter à l'échelle étalon, ce qui serait une véritable difficulté, quand le temps total de pose ne doit pas dépasser une à une minute et demie ou deux minutes.

« D'autre part, on doit se demander si un godet qui a subi une exposition prend immédiatement la teinte équivalant à la quantité de radiations absorbées ou s'il ne continue pas d'accentuer sa nuance, après l'exposition ; en un mot la réaction colorante se produit-elle instantanément ? Certaines observations que nous avons pu prendre nous permettent d'élever des doutes. De plus peut-on être sûr que tous les godets sont identiques les uns aux autres ? »

A ces critiques, on nous permettra d'ajouter les observations suivantes.

La sensibilité de la substance chimique, dont l'auteur garde le secret, est-elle toujours la même pour une même quantité de rayons X ? Ne pourrait-elle pas se comporter comme celle d'une émulsion au gélatino-bromure qui croît pendant un certain temps pour diminuer ensuite, auquel cas il conviendrait de joindre à chaque observation la date de la mise en godet de la substance employée ?

Les manipulations nécessaires à la préparation de la substance chimique seront-elles toujours réglées assez exactement pour que l'on puisse avoir des résultats comparables avec des godets différents, à trois, quatre, cinq ans d'intervalle et même plus ?

La température ne joue-t-elle pas un rôle dans la

la production de la teinte observée ? On sait en effet qu'une plaque photographique, toutes choses égales d'ailleurs, est plus facilement impressionnée l'été que l'hiver.

Le chromo-radiomètre, on le voit, mériterait de faire l'objet de patientes recherches et de minutieuses expériences. Il n'en reste pas moins un acheminement vers la solution du problème de la radiothérapie scientifique. Et pour qui se souvient du vieil adage, *natura non fecit saltus*, il est permis de le regarder, malgré ses imperfections, comme le premier des photoradiomètres totalisateurs.

4. Radiomètre de Freund. — Il n'y a pas très longtemps FREUND (142) a proposé un nouveau procédé de dosage des rayons X. Ce procédé repose sur le changement de couleur que subit une solution à 2 % d'iodoforme dans le chloroforme, sous l'influence des rayons X. Le liquide prend une teinte rouge vineuse due à la mise en liberté d'iode. Pour mesurer l'action des rayons X on compare la teinte du liquide ainsi modifié à celle de solutions chloroformiques d'iode à des titres divers. Freund a démontré que la quantité d'iode mise en liberté est en rapport direct avec la durée de l'action des rayons de Röntgen. Ainsi, après une exposition de 6 minutes, 0 gr. 059 d'iode sont mis en liberté pour cinq centimètres cubes de liqueur radiométrique.

Nous avons expérimenté ce réactif si séduisant par sa simplicité et par sa composition toujours la même. Mais nous avons remarqué que préparé dans l'obscur-

rité, avec du chloroforme pur, il ne tarde pas à se colorer même à l'abri de la lumière.

De plus la coloration est très rapide à la lumière diffuse du jour, ce qui rend illusoire les procédés de dosage des rayons X au moyen du colorimètre de Duboscq comme on aurait pu penser de le faire.

Parmi les autres appareils qui ont été proposés pour la mesure des rayons X, on peut encore citer, pour être complet, divers instruments.

Le *skiamètre* de SEIFERT (167) se compose d'une rangée de feuilles d'étain dont l'épaisseur croît en progression arithmétique. « Le nombre des feuilles traversées varie avec le degré de dureté du tube, pour des charges égales du tube. Mais ce nombre varie aussi avec la charge, pour un degré de dureté constant. L'emploi du skiamètre donne donc des résultats incertains, s'il passe plus ou moins de courant dans le tube et la détermination exacte du nombre de feuilles traversées est difficile. » Pour remédier autant que possible à cet inconvénient, surtout sensible pour les degrés de dureté élevée, on a fait varier l'épaisseur des feuilles d'étain en progression géométrique. Le rapport entre les épaisseurs de deux feuilles consécutives est ainsi le même pour toute l'échelle de l'instrument.

G. CONTREMOULINS (134 bis) a imaginé de comparer oculairement toutes les teintes équivalentes qui traduisent les deux facteurs essentiels à connaître : 1° le degré de pénétration des rayons X ; 2° la quantité de rayons, émis dans un temps donné. « Ces deux fac-

leurs *quantité* et *penetration* sont déterminés par des lectures simultanées, fournies par la fluorescence d'un écran de platino-cyanure de baryum, disposé derrière deux fenêtres confondues par un de leurs bords, avec une troisième éclairée par une lumière artificielle d'intensité variable. » Quoique intéressant, l'appareil de CONTREMOULINS n'est guère pratique et en tous cas nullement clinique. Il nécessite un générateur de gaz acétylène sec et à pression constante pour fournir la lumière-étalon. Un médecin radiographe a besoin d'instruments moins compliqués.

Un des dispositifs les plus récents, destiné à la mesure des rayons Röntgen, est celui que M. D'ARSONVAL a imaginé et que la maison GaiFFE (143) exposait au mois d'avril 1904 à la Société française de physique. C'est un milliampèremètre très sensible permettant de mettre toujours dans les mêmes conditions de fonctionnement le tube de Crookes. Ce milliampèremètre construit spécialement de façon à pouvoir être branché sur le circuit du tube donne, par une simple lecture, l'intensité du courant qui traverse le tube et permet de se rendre compte immédiatement des plus faibles variations de dureté qui ont tendance à se produire. Il est permis d'espérer que cet appareil sera d'un précieux secours en radiothérapie. Nous pensons même qu'on pourrait imaginer un *appareil enregistreur* inscrivant à chaque instant l'intensité du courant qui traverse le tube. On aurait ainsi de véritables documents pour chaque affection soignée et la radiothérapie deviendrait de la sorte une science des plus précises.

CHAPITRE XI

Mesure des radiations de Becquerel

Maintenant que nous connaissons les appareils destinés à la mesure des rayons X, nous n'avons que peu de chose à dire sur ceux qu'on peut employer pour la mesure des rayons du radium.

Les rayons β seuls cependant sont susceptibles d'être mesurés avec la *radiochromomètre* de BENOIST. Avec des échantillons très actifs, ils peuvent traverser les douze millimètres d'aluminium du dernier degré de l'appareil. C'est un degré qu'atteignent rarement les rayons X.

Les *rayons α* , de même que les kanalstrahlen de Goldstein, ne traversent qu'une lame ayant une très petite fraction de millimètre d'épaisseur. Pour eux, le radiochromomètre sera donc inutilisable. Ils ne sont pas assez pénétrants.

Les rayons γ , pour une raison toute différente, ne

peuvent pas non plus être appréciés par le radiochromomètre. « Ils ont un pouvoir pénétrant tel que, même en transformant le disque radiochromométrique de BENOIST en disque de plomb, le dernier échelon, devrait doubler d'épaisseur au moins pour les arrêter » (BERGONÉ, 189 p. 132).

Mais si le radiochromomètre ne peut pas servir pour les trois sortes de rayons, le *chromoradiomètre* de HOLTZKNECHT permettra de mesurer la totalité du rayonnement.

M. BÉCLÈRE (181) s'en est servi récemment pour mesurer et comparer l'activité de deux échantillons de radium que lui avait gracieusement prêtés M. Curie. Avec 43 centigrammes de sel de baryum radifère contenus dans une mince capsule d'aluminium et appliquée sur un godet réactif, une coloration correspondant à l'absorption de 3 unités H s'est manifestée au bout de 30 minutes.

Quelques centigrammes de bromure de radium pur enfermés dans un mince tube de verre et appliqués sur un autre godet réactif, ont donné en 5 minutes la coloration correspondant à l'absorption de 5 unités H.

L'activité du deuxième produit était donc dix fois plus grande.

Il est donc permis de penser que si le premier échantillon du sel radifère avait provoqué un certain degré de réaction au bout d'un temps donné T par exemple, le second aurait donné le même résultat en un temps $\frac{T}{10}$.

Nous concluons donc avec M. BÉCLÈRE, et sauf les restrictions que nous avons signalées plus haut à

propos de l'usage du chromoradiomètre. « que le dosage en radiumthérapie est aujourd'hui facilement réalisable.

Le médecin doit donc le pratiquer toujours aussi exactement qu'il est possible » (181).

II

PARTIE PHYSIOLOGIQUE

1. Action biologique de la lumière solaire et de la lumière électrique.
 2. Action biologique des rayons de Röntgen.
 3. Action biologique des rayons de Becquerel.
 4. Action biologique des rayons de Blondlot.
-

CHAPITRE XII

Action biologique de la lumière solaire et électrique

L'étude que nous allons faire n'est pas nouvelle et nous nous trouvons assez embarrassés car nous risquons de suivre d'un peu trop près ceux qui nous ont devancés dans cette voie (1). Nous essayerons cependant de donner à notre résumé un cachet original et nous commencerons par exposer l'action de la lumière sur les organismes les plus simples pour nous élever ensuite jusqu'aux plus complexes.

1° Action de la lumière sur les microbes

Nous ne parlerons ici ni des phénomènes phototropiques ou phototactiques produits par la lumière et

(1) Nous avons consulté de préférence pour cette étude, en dehors des travaux originaux, l'excellent livre de MM. Leredde et Pautrier ainsi que l'ouvrage très intéressant de MM. Chatin et Carle. Nous les remercions d'avoir ainsi facilité notre travail.

constatés par ELFVING et LAURENT. Ils sont assurément très intéressants, mais d'un médiocre intérêt médical. Plus curieuse est l'observation de LAURENT qui a pu modifier le bacille de Kiel par l'influence de la lumière et créer une race nouvelle absolument stable (71 bis, p. 28).

Mais l'action la plus importante pour nous de la lumière sur les microbes, celle qui a donné lieu aux travaux les plus nombreux et les plus précis, est l'*action bactéricide* de la lumière.

Ce pouvoir remarquable, d'une importance capitale, aussi bien en thérapeutique qu'en hygiène, fut signalé pour la première fois, en 1877, par DOWNES et BLUNT. Mais, pour être juste, il faut bien reconnaître que dès 1700, SPALLANZANI avait signalé l'action destructive des rayons solaires sur les germes vivants contenus dans les infusions végétales. Seulement il attribuait à tort cet effet à la chaleur.

DOWNES et BLUNT (327) exposèrent tout simplement aux rayons du soleil des tubes contenant des bouillons nutritifsensemencés de microbes quelconques. Une partie de ces tubes était entourée de plomb qui arrêtait la lumière sans supprimer la chaleur. Tous les tubes exposés à la lumière furent reportés à l'étuve et furent maintenus à une température constante favorable au développement des microbes. Seuls, les tubes protégés contre la lumière par l'enveloppe de plomb se peuplèrent de microorganismes. Pour prouver que la lumière n'avait pas modifié le milieu nutritif des tubes restés stériles, ces tubes furentensemencés à nouveau. Ils donnèrent d'abondantes cultures. La

lumière avait donc tué les microorganismes dans la première expérience.

Ces expériences de DOWNES et BLUNT excitèrent un vif intérêt dans le monde scientifique parce qu'elles révélaient un moyen de défense contre les microbes, moyen à la portée de tous. La lumière n'est-elle pas l'agent physique le plus puissant de notre globe ?

DOWNES et BLUNT ne tardèrent pas à reconnaître que la lumière diffuse du jour présentait également des propriétés bactéricides et que parmi tous les rayons, les rayons violets étaient les plus actifs. Ils observèrent également que la présence de l'oxygène était nécessaire à l'action de la lumière.

TYNDALL (457), JAMIESON (370) confirmèrent bientôt les recherches de DOWNES et BLUNT, mais JAMIESON attribuant l'action bactéricide à la chaleur, DOWNES (326) se livra à de nouvelles recherches pour démontrer qu'il y avait là une erreur. NOCARD, STRAUSS en France, SANTORI en Italie (437, 438) donnèrent raison à DOWNES.

Mais les expériences de Downes et Blunt manquaient de précision. Elles ne tenaient compte ni de la chaleur à laquelle étaient portés les tubes par l'action du soleil, ni de la composition du milieu de culture, ni des bacilles en expérience. C'est alors qu'en même temps DUCLAUX à Paris et ARLOING à Lyon commencèrent des recherches plus précises.

Voici quelles furent les conclusions de DUCLAUX déduites de ses expériences sur le *Tyrophthrix scaber* (bacille du lait) à l'état de spores et sur le coccus du clou de Biskra (335) :

« 1° Le degré de résistance au soleil des spores de

divers bacilles est variable avec l'espèce du bacille, et pour un même bacille, avec la nature du liquide dans lequel il a été cultivé ;

« 2° Ce n'est guère qu'au bout d'un mois d'exposition que ces spores, conservées à sec dans un ballon de verre, commencent à devenir incapables de se développer dans un milieu approprié ;

« 3° Les cocci, chez lesquels on ne connaît pas de spores, sont plus rapidement tués que les spores des bacilles ;

« 4° Ces cocci sont moins résistants insolés à l'état sec, que lorsqu'ils sont contenus dans un liquide de culture ;

« 5° La mort de tous les microbes est d'autant plus rapide que l'insolation est plus forte et beaucoup plus prompte même sous un soleil faible qu'à l'obscurité ou à la lumière diffuse. »

ARLOING (277) faisait des expériences analogues sur le *Bacillus anthracis*. Il vit que la lumière du gaz retardait l'évolution des sporesensemencées sans altérer leur virulence, mais que la lumière solaire faisait baisser la virulence à tel point qu'au bout de 20 heures d'exposition la culture pouvait servir de vaccin. La confirmation de ces expériences ne tardait pas à être faite par SANTORI qui obtenait un vaccin contre le charbon après 12 à 14 heures d'exposition de la culture au soleil (437).

Cependant un point des expériences d'Arloing était en contradiction avec tout ce qu'on savait jusqu'alors des cultures microbiennes. On connaît la résistance énorme des spores à toutes les tentatives de stérilisa-

tion, or ARLOING avait remarqué que les spores du charbon étaient tuées après 2 heures d'exposition au soleil de juillet, tandis que le mycélium demandait 30 heures de la même action pour être stérilisé.

ROUX (431) recommença les expériences d'Arloing et arriva à des conclusions bien différentes. Les spores conservaient leur vitalité après plus de 50 heures d'insolation dans l'air et donnaient encore des cultures après 83 heures d'insolation dans le vide. L'action de l'oxygène favorisait donc celle de la lumière.

Pour expliquer les constatations d'Arloing, on peut penser que les spores germaient sous l'influence de l'élévation de température du milieu et que le jeune mycélium était facilement tué par la lumière (NOCARD et STRAUSS). On peut imaginer aussi avec ROUX (429 bis) que le milieu de culture, modifié par l'air et le soleil, devenait impropre à la germination des spores au bout de peu de temps, tandis qu'il restait apte à nourrir les bacilles déjà formés.

Mais les recherches sur cette intéressante question se multipliaient un peu partout. Elles n'étaient pas toujours concordantes. UFFELMANN ne reconnaissait à la lumière aucun pouvoir microbicide sur le bacille d'Eberth ; tout au plus diminuait-elle un peu la virulence des cultures et la rapidité du développement (458). C'était juste le contraire que ce que notait GAILLARD (352) et JANOWSKI (371). Il est probable que les vases dans lesquels on plaçait les cultures et dont le verre arrête plus ou moins les rayons chimiques (les plus actifs) selon son épaisseur n'étaient point étrangers à des résultats aussi contradictoires.

PANSINI (406) en éliminant cette influence perturbatrice arriva à des résultats remarquables. Il prit des cultures du *Bacillus anthracis* et les exposa au soleil de Naples à une température variant entre 32 et 40 degrés. Avant toute exposition la culture contenait 2520 colonies, après 10 minutes d'exposition au soleil ce nombre tomba à 360, après 20 minutes à 130. Après 1 heure on ne trouvait plus que quatre colonies. Et ce n'est pas seulement les rayons directs du soleil qui pouvaient agir sur les bacilles; la lumière diffuse du jour, quoique moins active, exerçait une action retardante considérable.

Toutes intéressantes que soient ces recherches, on voit ce qu'elles gagneraient en précision si le *degré actinique* du soleil ou de la source de lumière utilisée était joint à l'expérience. On s'expliquerait mieux alors la différence qui existe entre les expériences des divers observateurs. Les chiffres que nous avons donnés au chapitre des mesures permettent d'affirmer, en effet, qu'il y a une grande différence entre la puissance chimique du soleil à Londres et à Naples par exemple.

Recherches spéciales sur les microorganismes pathogènes. — Les recherches précédentes furent complétées bientôt par d'autres qui ont une grande importance au point de vue pratique.

KOCH (375 bis) montra qu'en quelques heures les rayons directs du soleil détruisaient les bacilles de la tuberculose et que la lumière diffuse donnait le même résultat quoique plus lentement.

MIGNECO (398) n'expérimentait plus sur des cultures pures comme Koch, mais sur des rideaux, sur des étoffes souillés de crachats tuberculeux. L'action du soleil fut identique à celle des recherches précédentes mais il fallut la prolonger de 25 à 30 heures pour obtenir la mort des bacilles. Encore quelques-uns de ceux qui étaient logés dans l'intérieur du tissu parvenaient-ils à échapper à la destruction.

RANSONE et SHERIDAN arrivèrent à des résultats analogues (423). Ils se servaient de l'inoculation pour constater l'affaiblissement progressif puis la stérilisation des cultures.

NAGELSCHMIDT et FINSSEN montrèrent que l'action bactéricide s'exerçait non-seulement sur des cultures pures mais même au sein des tissus malades (tissus lupiques p. ex.).

BUCHNER (307) et KRAUSE (378) firent porter leurs expériences sur le bacille d'Eberth. En deux heures d'exposition au soleil il fut tué. BUCHNER s'adressa ensuite au bacille du choléra et au bacille coli. Pour mettre en évidence l'action de la lumière il employait une méthode fort originale qui a gardé son nom. Les cultures faites en milieu solide (gélose ou agar-agar) dans des boîtes de Petri, étaient recouvertes tantôt de plaques de plomb portant le mot TYPHUS découpé à jour, tantôt de caractères de plomb désignant le nom du bacille en expérience. On exposait le tout à la lumière pendant un temps variable puis on reportait à l'étuve. Dans le premier cas le mot TYPHUS apparaissait par suite du développement périphérique des microbes dans les endroits protégés par la plaque de plomb.

C'était le même phénomène 'mais en sens inverse qui mettait les lettres en évidence dans le second cas.

Enfin les recherches récentes de KITASATO et de PALERMO (405), ont montré que les bacilles de la peste et du choléra mourraient en 3 ou 5 heures au soleil. Sur le bacille de Löffler, ROUX et YERSIN sont arrivés à des résultats analogues.

A quels rayons du spectre est dévolue l'action bactéricide. — Nous avons déjà vu que DOWNES et BLUNT avaient attribué l'action de la lumière aux rayons chimiques (violets et ultra-violets) du spectre. JAMIESON pensait au contraire qu'il fallait incriminer les rayons calorifiques.

Les recherches de JANOWSKI (371) et de KOTLIAR (377), firent faire un grand pas à la question. Tous deux se servaient de milieux monochromatiques pour filtrer la lumière. Ils conclurent que les radiations qui agissaient le mieux sur le papier photographique étaient aussi celles qui tuaient le plus rapidement les microbes.

GEISSLER (354, 355) et DIEUDONNÉ (325) s'adressèrent à des sources artificielles de radiation. GEISSLER se servit de l'étincelle électrique et de l'arc voltaïque. Il compara leur action à celle du soleil et ne vit point de différence qualitative dans leurs effets. Mais il vit que le pouvoir bactéricide croissait rapidement avec les rayons les plus réfrangibles.

DIEUDONNÉ utilisa la lumière du soleil et comparativement un arc voltaïque de 900 bougies et une lampe à incandescence. La lumière de l'arc stérilisa en

3 heures des cultures de *micrococcus prodigiosus*, tandis que 11 heures furent nécessaires avec la lampe à incandescence. On n'a qu'à se reporter aux mesures actiniques que nous avons données plus haut pour se rendre compte de cette différence d'action.

Les recherches les plus récentes sur cette question sont celles de D'ARSONVAL et CHARRIN, de LEDOUX et LEBARD, de CHATIN et NICOLAU, en France ; de FINSEN et BIE en Danemark ; de STREBEL et d'EBERT en Allemagne.

D'ARSONVAL et CHARRIN (320) montrèrent que la lumière blanche diminuait le pouvoir chromogène de bacille pyocyanique. Ils exposèrent ensuite des cultures identiques dans les diverses régions du spectre et constatèrent que seules celles qui avaient été placées dans la région violette et ultra-violette restaient stériles. Le temps d'irradiation était très variable suivant l'intensité lumineuse.

FINSEN et BIE (344 bis et 291 bis) se servirent uniquement de la lumière électrique fournie par un arc de 6.000 bougies et tamisèrent les rayons lumineux à l'aide de solution monochromatiques vérifiées au spectroscope.

Ils éliminèrent avec soin l'action calorifique qui aurait pu avoir une influence perturbatrice. Ils constatèrent qu'alors que la lumière blanche de l'arc stérilisait les cultures en 15 secondes, les rayons compris entre le rouge et le vert ne donnaient le même résultat qu'en 360 secondes. BIE résumait ses recherches en attribuant 96 0/0 de l'action bactéricide du spectre aux rayons actiniques (bleu-indigo, violet et ultra-violet) et 4.0/0 seulement aux rayons calorifiques ou lumineux (rouge, orangé, jaune, vert).

STREBEL et EBERT (453 bis) étudièrent l'action de l'étincelle électrique, très riche comme l'on sait en rayons ultra-violets, et donnant peu de rayons calorifiques. Ils arrivèrent ainsi, avec des étincelles puissantes, à tuer le *micrococcus prodigiosus*, le *bacillus anthracis*, le gonocoque de Neisser en quelques minutes et à une distance toujours supérieure à 50 centimètres. La substitution d'électrodes en cadmium ou en aluminium aux tiges de laiton augmentait encore le pouvoir bactéricide en augmentant la réfrangibilité des radiations produites. STREBEL concluait que plus la longueur d'onde diminue, plus l'action sur les microbes est énergique.

C'est à des résultats identiques que sont arrivés BANG (280), avec son arc au fer qui stérilisait les cultures de *staphylocoque doré* 67 fois plus vite que l'arc ordinaire à charbons, et A. CHATIN aidé de S. NICOLAU (315). Les recherches de ces derniers expérimentateurs ont porté sur le *staphylocoque doré*, le *bacille de Löffler*, le *bacille pyocyanique*, le *bacille de Koch*, le *bacille du charbon*. Tous ces microbes ont été tués au bout de quelques minutes, mais il importe de noter que cette action si intense des radiations de très petite longueur d'onde fournies par les arcs à vapeurs métalliques est *toute en surface*. L'action en profondeur est *nulle* (Drossbach, Bang, Chatin). Les radiations de trop courte longueur d'onde ne sont donc pas à rechercher pour le lupus où l'on veut agir en profondeur. Cette remarque vient éclairer d'autre part l'action des rayons X si variable avec la résistance du tube comme nous le verrons bientôt.

CHATIN et NICOLAU concluaient (315) :

1° Que la lumière naturelle (soleil) et artificielle (arcs électriques de différentes espèces) agit sur les *bactéries* et sur leurs *spores* pour en arrêter le développement.

« 2° Que c'est aux *rayons actiniques* (bleus, violets et ultra-violets) qu'elle doit ses propriétés. »

« 3° Il n'est pas d'espèces bactérienne qui puisse résister au pouvoir bactéricide de la lumière si cette lumière est assez intense et assez concentrée, et si le temps d'exposition est suffisamment long. »

Mécanisme de l'action intime de la lumière sur les bactéries. — DUCLAUX (335) et ROUX (431) avaient déjà remarqué que la lumière était bien favorisée dans son action lorsque les microbes se trouvaient dans un milieu renfermant de l'oxygène.

DIEUDONNÉ (325) étudiant de plus près ce phénomène croit pouvoir attribuer l'action bactéricide de la lumière à un phénomène purement chimique déterminé par les rayons actiniques. Il se forme en effet de l'*eau oxygénée* ($H^2 O^2$) dans les cultures sur agar-agar, sur gélatine et sur gélose (1). Or cette eau oxygénée abandonne très facilement son oxygène à l'état naissant aux substances organiques qui l'entourent et spécialement aux bactéries qui sont détruites par cette action oxydante très énergique.

Ces conclusions de DIEUDONNÉ sont d'autant plus séduisantes que l'on connaît bien l'action bactéricide

(1) DIEUDONNÉ s'est servi, comme réactif de l'eau oxygénée, d'une solution très étendue de sulfate de fer et d'empois d'amidon ioduré fraîchement préparé. Ce liquide donne, avec des traces d'eau oxygénée, une coloration bleue intense.

puissante de ce liquide et qu'on a constaté bien souvent la formation de l'eau oxygénée dans les liquides sous l'influence du soleil. RICHARDSON (426) l'a même rencontrée dans l'urine fraîche exposée aux rayons solaires.

Mais il y a plus. La lumière, nous l'avons vu, diminue la virulence des toxines bactériennes qui peuvent ainsi servir de vaccins. Cette action ne serait autre qu'un phénomène d'oxydation comme le premier. Mais comme l'action de la toxine sur l'organisme animal et humain est souvent plus importante que celle du microbe lui-même, voyons en quelques lignes le résultat des recherches sur cette question.

Action de la lumière sur les fermentations, les zymazes, les toxines. — GIUNTI (356, 357), a étudié l'action de la lumière sur la *fermentation alcoolique* et la *fermentation acétique*. Il exposait du vin blancensemencé de *mycoderma aceti* à la lumière du soleil pendant toute la journée. La fermentation acétique ne se montra à aucun moment et GIUNTI préconisait sa méthode pour traiter les vins qui commençaient à aigrir. La *fermentation alcoolique* fut également entravée par la lumière et c'est un fait d'observation courante que les vignerons choisissent de préférence pour leurs cuves un endroit obscur.

DOWNES et BLUNT observèrent que la lumière détruit l'activité de la macération filtrée de levûre de bière.

DUCLAUX (335 bis, t. II, p. 222), a signalé que la sucrase est détruite de la même manière. Chose plus curieuse, il suffit que le vase où l'on met la sucrase

ait été préalablement insolé pour que l'action se produise. MM. LAMBERT et MAYER (611) se sont demandés récemment s'il ne faudrait pas faire intervenir dans ce phénomène spécial, l'action des rayons N.

Les fabricants de fromages savent que la présure perd son activité à la lumière et qu'il faut la conserver dans l'obscurité.

L'amyrase de la salive, comme celle des végétaux, est altérée par la lumière et GREEN admet que l'albumine et la chlorophylle n'ont pas d'autre but que de protéger l'amyrase contre l'action destructrice des rayons chimiques (R. DUBOIS, 331).

Nous rappelons l'atténuation du virus charbonneux obtenue par ARLOING à la lumière solaire, Son activité pouvait être diminuée à un point tel qu'il servait de vaccin (277).

PIAZZA (408), a vu de même que les propriétés nocives de la *toxine diphtérique* diminuaient lentement mais progressivement à la lumière diffuse. Au bout de 100 jours elle était devenue indifférente. Aux rayons directs du soleil l'altération était beaucoup plus rapide. PIAZZA ajoutait que les rayons ultra-violets avaient l'action la plus énergique et que la diminution de la virulence était d'autant plus rapide que la toxine offrait à l'air une plus large surface.

Or, comme le fait remarquer DUCLAUX, (335 bis) les toxines sont des substances oxydables, craignant l'air et la lumière ; l'action de la lumière peut donc encore ici être ramenée à des phénomènes d'oxydation (DIEUDONNÉ).

Purification du sol et de l'eau à la surface du globe par l'action combinée de la lumière et de l'air. — Les effets de la lumière dont nous venons de parler font prévoir toute l'importance de cet agent au point de vue de l'hygiène. Ouvrir au grand soleil ses appartements, c'est y faire pénétrer le désinfectant le plus puissant et le plus efficace. N'est-ce pas ainsi du reste que le sol, les eaux des rivières, des fleuves, les eaux polluées des égouts redeviennent pures et aseptiques ?

WITTLING (472) a constaté, en effet, que les rayons du soleil jouissent d'une puissante action antiseptique sur les spores des bactéries contenues dans les poussières des rues. Cette action serait moins grande lorsque les poussières sont mouillées, aussi Witting recommandait-il de ne point arroser les rues en été.

PRAUSNITZ (415), sur les conseils de PETTENKOFFER étudia l'eau de l'Isar après la traversée de Munich. A 10 kilomètres de distance, les microbes étaient morts plus d'à moitié et après un parcours de 33 kilomètres l'eau de l'Isar pouvait être absorbée sans aucun risque pour la santé.

Les expériences de PRAUSNITZ (415), de BUCHNER (306) de PROCACCINI de Naples n'ont fait que confirmer les précédentes. L'action bactéricide de la lumière du soleil peut s'exercer, en septembre, à travers une couche d'eau de 3 mètres d'épaisseur (expérience sur le lac de Starnberg, près de Munich) (71 bis, p. 45).

On peut donc dire que sans le Soleil la Terre deviendrait bientôt inhabitable. C'est sans doute ses propriétés purificatrices que les Grecs avaient voulu rappeler

dans leurs mythes fameux lorsqu'ils donnaient pour père à Esculape (le dieu de la Médecine) l'éclatant Phébus Apollon, le dieu du Soleil vivificateur.

*
* *

2^e Action de la lumière sur les Végétaux

Pour rester fidèle à notre programme, nous nous bornerons à l'action exclusive des rayons lumineux et chimiques. Cette action est très variée, mais on peut ranger les effets produits en trois grandes catégories :

A) Phénomènes *mécaniques*, avec déplacements partiels ou complets du corps de la plante ;

B) Phénomènes *chimiques*, avec mise en activité du bioprotéon sous l'influence de la lumière et modifications dans sa nutrition ;

c) Phénomènes *morphologiques*, avec modifications de forme et de structure des organes végétatifs ou transformation des organes reproducteurs.

Les faits de la deuxième catégorie sont les plus intéressants pour le médecin biologiste et nous y insisterons davantage, mais parce que l'action de la lumière sur les végétaux a fait l'objet de nombreuses recherches nous étudierons aussi les phénomènes mécaniques et morphologiques.

A).Phénomènes mécaniques dus à la lumière. — Chez les végétaux composés d'une seule cellule ou de quelques cellules, et qui sont pour cette raison très mobiles, on

note des phénomènes de *lucitactisme* ou de *phototactisme* positif ou négatif. Le *fuligo septica* (un myxomycète) élève ainsi son plasmode vers une lumière faible et l'enfonce dans la tannée si la lumière est intense. Chez d'autres cellules végétales mobiles (zoospores d'Algues, anthérozoïdes, Volvox) les mouvements, désordonnés dans l'obscurité, font place à des mouvements ordonnés sous l'influence des radiations. Le *Closterium moniliferum* (Conjuguée) exécute sur place une série de pirouettes et offre tantôt une de ses faces, tantôt l'autre à la lumière incidente ; le *Micrasterias rota* (Conjuguée) place ses cellules aplaties perpendiculairement à la direction de la lumière (MANGIN-(391), STAHL (449 bis), STRASBURGER (452).

Quand la rigidité des membranes s'oppose au déplacement de la plante, on note encore des déplacements du bioprotéon, mais à l'intérieur des cellules. Chez le *Mesocarpus* (Conjuguée), par exemple, chacune des cellules qui constitue le végétal renferme un corps chlorophyllien aplati. Si la lumière est faible, le corps chlorophyllien se dispose *perpendiculairement* aux rayons incidents, si la lumière est forte, la plaque verte se dispose *parallèlement* à la direction des radiations (OLTMANN, 403). Le corps chlorophyllien s'est comporté vis-à-vis de l'énergie lumineuse comme les palettes d'un moulin à vent à disque vis-à-vis des courants atmosphériques trop violents.

Chez de nombreuses plantes, on constate des phénomènes analogues et l'on voit l'orientation des grains de chlorophylle changer avec le jour et la nuit et avec les différentes heures de la journée (PRILLIEUX (420), STRASBURGER (452), ROZE (431 bis).

Qu'on étudie au moyen du spectre ou d'écrans absorbants colorés l'action des lumières de réfrangibilité diverse, on arrive aux mêmes résultats : les radiations de grande longueur d'onde (rouge, orangé, jaune) sont presque inactives ; les *radiations de petite longueur d'onde* (bleu indigo, violet et ultra-violet) sont presque aussi *actives* que la lumière blanche.

Si nous considérons maintenant des organes en voie de croissance exposés à un éclairage non uniforme, on ne tarde pas à constater une déformation de la plante qui naguère encore se tenait bien droite à un éclairage égal de tous les côtés. On désigne ces déformations causées par les radiations sous le nom de *déformations phototropiques*. Le *phototropisme* ou *héliotropisme* est la propriété que manifestent les plantes de s'orienter sous l'influence de la lumière. Ce phototropisme peut être *positif*, quand la plante s'incline vers la radiation, ou *négalif* lorsqu'elle la fuit. Ce dernier phénomène, beaucoup plus rare, ne se voit guère que dans les vrilles de la vigne vierge, la tige hypocotylée du Gui et les racines aériennes de certaines Orchidées (MANGIN, 391). Ces courbures phototropiques n'affectent que les *régions en voie de croissance* ; quand la croissance a cessé, elles deviennent permanentes.

Là encore les radiations les plus réfrangibles et spécialement les *radiations violettes* sont les *plus actives*. On constate même une action très nette dans la zone ultra-violette du spectre, assez loin de toute lumière visible pour notre œil.

WIESNER a montré (470 bis), qu'il ne s'agissait pas là

d'une action directe de la lumière sur la croissance mais d'un *retard de la croissance* et que ce retard était maximum avec les radiations bleues, minimum avec les radiations jaunes. Cependant le phototropisme n'est *pas dû à une action directe sur la croissance* DARWIN, (322). Des expériences récentes de RÖTHERT (430 bis) l'ont prouvé d'une manière irréfutable et ont permis de distinguer la *sensibilité héliotropique* de la *réaction mécanique* qu'elle provoque non seulement sur les points frappés par la lumière mais même bien au-delà. Que l'on s'adresse aux Monocotylédones ou aux Dicotylédones, on peut toujours séparer cette *sensibilité héliotropique* de l'*excitabilité héliotropique*. Mais la sensibilité héliotropique n'est pas localisée au sommet de la zone de croissance comme le croyait (DARWIN 322); elle existe plus ou moins accentuée dans toute la région en voie d'accroissement.

Il y a, dans ces phénomènes remarquables, une véritable *perception* par la plante des excitations extérieures. La déformation, qui en est la conséquence n'apparaît qu'au bout d'un temps variable dépendant de deux facteurs : *vitesse de propagation* de l'excitation au sein du bioprotéon et *distance* qui sépare la région sensible de la région excitable. C'est là le schéma d'un acte réflexe comme en offrent les animaux.

Le secret de ces déformations n'a pas encore été dévoilé, mais il est un fait : elles ont pour but d'orienter la plante de telle sorte qu'elle profite au maximum des radiations utiles (SACHS, 435, MANGIN, 391).

Quand la croissance a cessé et que les organes végé-

taux ont passé à l'état adulte, ils n'en restent pas moins sensibles à l'influence de la lumière. Dès 1567, GARCÍAS DE HORTO avait indiqué, ou plutôt soupçonné, que la lumière devait être la cause de certains mouvements des cotylédons, des feuilles et des fleurs. LINNÉ (*Somnus plantarum*) établit cette opinion sur des bases solides. Ces mouvements, dits *nyctitropiques* donnent, suivant que la plante est à la lumière ou à l'obscurité, des *positions de veille* et des *positions de sommeil*. Nous n'y insisterons pas. Tout le monde a constaté la position de sommeil chez quelques plantes. On la rencontre très marquée dans les *folioles* de la Coronille rose, du *Strephium floridum*, du Lupin, du Carambolier, de la Sensitive (*Mimosa pudica*). DE CANDOLLE (309) a pu intervenir peu à peu chez cette dernière plante les conditions de veille et de sommeil en faisant de la nuit le jour à l'aide de la lumière artificielle. BONNIER a même essayé sur les plantes un éclaircissement continu qui a mis en évidence l'action favorable du repos de la nuit. « *Ne quid nimis* », disait un proverbe antique. Il est aussi vrai pour les plantes que pour les hommes et une lumière *ininterrompue* est plutôt nuisible au bioprotéon.

Mais les phénomènes de veille et de sommeil chez les végétaux ne sont point commandés par les mêmes radiations que les phénomènes que nous avons vu jusqu'ici. Dans le *rouge* les plantes prennent très vite leurs position de sommeil, dans le *jaune* un peu plus lentement. Le *vert* n'a presque aucun effet.

Dans le violet et l'ultra-violet la position de veille persiste. Mais, *quand les plantes sont endormies*, les

radiations rouges peuvent les réveiller aussi bien que les radiations violettes. Or les matins et les soirs, au moment du lever et du coucher du soleil, les rayons jaunes et rouges prédominent. Ils endorment le soir le monde végétal qui se réveille à l'aurore aux radiations empourprées de l'Astre radieux; remarquable exemple des effets divers que peut produire une même cause agissant sur le même sujet.

L'*utilité* de ces mouvements n'est pas douteuse pour la plante. Le reploiement des folioles diminue la surface de rayonnement et protège la plante contre un trop grand refroidissement nocturne.

Il faut ajouter à ces faits, les *mouvements nyctitropiques* des fleurs bien étudiés par HOFMEISTER (366) et DE CANDOLLE (309). Ils sont assez nombreux pour qu'on ait pu dresser un tableau horaire, l'*Horloge de Flore* d'après l'heure moyenne à laquelle ils se manifestent. Le microscope a même révélé que les *stomates* s'ouvrent ou se ferment suivant l'intensité des radiations, réglant ainsi d'une façon automatique l'exhalation de la vapeur d'eau et des gaz nécessaires à l'assimilation chlorophyllienne.

Plus curieux encore est le phénomène désigné par DARWIN (322) sous le nom de *parhéliotropisme*. Il étonne particulièrement le voyageur qui parcourt les régions tropicales. De loin, on voit de vertes forêts de palmiers, d'arbres d'essences diverses, et l'on se réjouit de trouver dans leur voisinage de la fraîcheur et un abri contre les rayons aveuglants du Soleil. Il n'en est rien. La trop grande lumière serait pour la plante encore plus nuisible que pour l'homme : elle détruirait

la chlorophylle. Et la plante, pour échapper au danger, oriente toutes ses feuilles parallèlement aux rayons solaires qui ne l'atteignent ainsi que par la tranche. L'orientation changeant avec l'élévation du soleil au-dessus de l'horizon, les sous-bois sont aussi éclairés durant la journée que les plaines sans végétation.

B. Phénomènes chimiques dus à la lumière. — Lorsque le bioprotéon est frappé par la lumière, sa nutrition est modifiée, mais si cette action est générale, celle qui s'exerce sur le bioprotéon incolore est bien peu de chose vis-à-vis de celle que l'on constate sur les *organes verts* des plantes. Tous les phénomènes de synthèse nutritive en dépendent.

Il est un fait tellement connu que nous hésitons à le rappeler ici. L'action de la lumière est indispensable à la vie des plantes. Une plante placée dans l'obscurité languit. Elle se décolore et ne tarde pas à mourir. La chaleur, l'air, l'humidité n'ont pu prolonger son existence; le *pigment vert* qu'elle contenait et qui a diminué peu à peu a besoin de la lumière pour prospérer et pour faire vivre la plante en fixant le carbone emprunté à l'anhydride carbonique de l'air.

Du reste, ce pigment (*la chlorophylle*) est tellement nécessaire qu'il se montre bien peu exigeant. La moindre lumière, la flamme d'un bec de gaz, une demi-clarté, à peine suffisante pour lire, lui suffisent pour se développer et pour fonctionner du moins partiellement. Le développement et l'activité de la chlorophylle vont croissant avec l'intensité lumineuse jusqu'à un maximum au-delà duquel surviennent un

ralentissement dans la vie et les effets du pigment, puis sa mort. Nous avons vu plus haut le merveilleux mécanisme par lequel la plante se protège contre les radiations trop intenses. Son automatisme est une des conditions de son efficacité.

Toutes les radiations n'agissent pas également bien sur le développement de la chlorophylle. Dans le *jaune*, vers la raie D, on constate le maximum ; le *violet* et l'*ultra-violet* sont efficaces, mais à un degré beaucoup moindre. Il est vrai que dans l'*ultra-violet* l'action se prolonge sur une longueur égale à celle du spectre visible. Sous l'action des radiations, les *leucites* (corpuscules albuminoïdes différenciés dans le bioprotéon végétal) forment de la xanthophylle puis de la chlorophylle et deviennent des *chloroleucites* (SACHS, 433).

La formation de la chlorophylle sous l'influence de la lumière est un fait tout à fait général. Il y a cependant quelques *exceptions*. Les cotylédons d'un certain nombre de graines, les Conifères, les Fougères verdissent dans l'obscurité (FLAHAULT, GRIFFON, 358). On trouve également des Algues vertes à 2.000 mètres de profondeur dans l'Atlantique. Mais si la lumière solaire ne pénètre pas à ce niveau, la phosphorescence si fréquente des bas-fonds sous-marins suffirait peut-être à expliquer la formation de la chlorophylle.

Quel est le rôle de la *chlorophylle* ? Il y a longtemps que l'on a constaté qu'une plante exposée à la lumière dégage de l'oxygène et absorbe du gaz carbonique, mais on a reconnu aussi que les chloroleucites renferment des grains d'amidon dont le nombre augmente à la lumière et diminue à l'obscurité pour descendre à

zéro. Ces deux phénomènes ne sont point indépendants. Ils sont liés étroitement l'un à l'autre (STAHL). Si l'on maintient en effet dans l'obscurité une feuille jusqu'à disparition de l'amidon, puis qu'on obture les stomates à l'aide d'un vernis, on peut la laisser à la lumière dans une atmosphère de CO^2 sans que l'amidon se forme. Si l'on vient à enlever le vernis en un point et à déchirer la cuticule, l'amidon se forme aussitôt en cet endroit.

Cette formation d'amidon en même temps que l'absorption de CO^2 a conduit à l'hypothèse suivante : L'anhydride carbonique serait, sous l'influence de l'énergie fournie par les radiations, dissocié partiellement ou totalement. On peut avoir.



Mais, que la décomposition de CO^2 soit totale ou partielle, on suppose (en admettant une décomposition de H^2O accompagnant la dissociation de CO^2) qu'elle donne de l'*aldéhyde formique*, CH^2O , corps toxique, qui n'existerait qu'un instant et donnerait ultérieurement du glucose puis, par déshydratation, de l'amidon. Les expériences de BOKORNY semblent confirmer cette manière de voir, puisque l'amidon persiste dans une feuille, même à l'obscurité, si elle baigne dans un liquide (oxyméthylsulfite de sodium) capable de lui fournir à l'état naissant de l'aldéhyde formique.

La plante *assimile* donc *du carbone* et le *met en réserve* ; autrement dit, elle crée de toutes pièces aux dépens des éléments gazeux de l'atmosphère des

hydrates de carbone qui serviront à l'alimentation des animaux. Les végétaux sont donc des *transformateurs d'énergie*. Mais cette assimilation du carbone que les plantes réalisent grâce à l'énergie empruntée aux radiations et que le pigment vert absorbe, est variable suivant la nature de la plante, la pression de CO_2 , la température. Elle *varie* surtout avec la *réfrangibilité des radiations* et leur *intensité*.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour étudier l'action des diverses radiations sur les végétaux. Elles rentrent toutes dans l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes :

a) méthode du spectre,

b) méthode des écrans absorbants (plaques de verre ou liquides colorés).

a) La première méthode, employée par GARDNER, DRAPER, DAUBENY, GUILLEMIN (360), TIMIRIAZEFF (456), les conduisit à cette conclusion que le maximum d'action se trouvait dans le *rouge*, entre les raies B et C (juste au niveau de la bande d'absorption la plus forte du spectre de la chlorophylle). Pour mesurer cette action TIMIRIAZEFF disposait tout simplement le long du spectre bien pur et bien étalé donné par le soleil une série de petites éprouvettes, contenant de l'eau et une feuille de bambou, renversées sur une cuve à mercure. On recueillait ainsi une certaine quantité d'*oxygène*, d'autant plus considérable que l'effet de la radiation colorée avait été plus intense. ENGELMANN (342, 343) répéta la même expérience d'une façon beaucoup plus élégante. Il plaçait sur le porte-objet du microscope un filament de Conferve dans de l'eau contenant une seule

espèce de bactérie, le *bacterium termo*, très avide d'oxygène. Il projetait ensuite sur la préparation un petit spectre et il ne tarda pas à constater que les bactéries se groupaient en deux endroits, l'un correspondant aux radiations les moins réfrangibles, l'autre aux radiations les plus réfrangibles du spectre visible. Dans la partie verte du spectre on ne trouvait aucune bactérie. Les deux amas, dans le rouge et dans le violet, étaient à peu près *équivalents*.

b) La deuxième méthode donne des résultats analogues, mais elle est moins précise à cause de la difficulté d'obtenir des écrans rigoureusement monochromatiques.

Les deux amas de bactéries, dans l'expérience d'Engelmann, correspondent justement aux bandes d'absorption du spectre de la chlorophylle. Ce pigment vert est donc un transformateur à la fois de l'énergie calorifique et de l'énergie chimique de la lumière. Mais tandis que l'on avait attribué jusqu'ici un rôle prépondérant aux radiations rouges et jaunes, de nouvelles recherches tendent à établir que les *rayons actiniques* sont les *plus actifs*. THEODORESCO (455 bis) expérimentant sur la fève vulgaire, a trouvé, pour les radiations *bleues*, le maximum de surface foliaire, le maximum de grosseur des grains de chlorophylle, le maximum de stomates. Le *rouge* venait ensuite au point de vue des effets, puis bien loin après lui, le *vert*. GRIFFON (359), mesurant l'énergie assimilatrice par la quantité de CO_2 décomposé au moyen de feuilles d'arachide et de maïs a trouvé :

	LUMIÈRE BLEUE	LUMIÈRE ROUGE	LUMIÈRE VERTE
Arachide	0 ^{cc} 054	0 ^{cc} 041	0 ^{cc} 027
Maïs	2.440	1.602	0.823

Ces résultats concordent bien avec ce que nous savons des bandes d'absorption dans la partie la plus réfrangible du spectre de la chlorophylle. On y voit, en effet, trois larges plages estompées entre la raie F et l'ultra-violet.

Si l'on ajoute à ces résultats que les rayons chimiques augmentent fortement les phénomènes de *respiration*, qu'ils jouent un rôle prépondérant sur la *synthèse des matières azotées* dans les parties vertes des plantes à l'aide des nitrates puisés dans le sol (SACHS (433), LAURENT, MARCHAL et CARPIAUX), qu'ils donnent à la *chloroacaporisation* sa valeur maxima, on peut affirmer hautement qu'ils constituent le plus puissant facteur de la vie végétale.

Et l'on se reporte involontairement aux fameuses expériences du général PLEASANTON (410) que DE BEAUMONT a rappelées à l'Académie de Sciences en 1871. En avril 1861, le général planta, dans une serre éclairée par des vitres en verre violet, de boutures de vigne d'un an, ayant 7 millimètres de diamètre et de 30 espèces différentes. Au mois de septembre de la même année, ces vignes mesuraient déjà en moyenne 15 mètres de long sur 3 centimètres de diamètre à la base. Au bout de 17 mois cette vigne, d'une précocité étonnante, donna 1200 livres de raisin. Et la lumière violette lui réussit si bien qu'en 1866 elle en produisait dix tonnes. Cette récolte se maintint à peu près constante pendant les 9 années que dura l'expérience et la vigne

fut indemne de toute maladie. Ajoutons que ces résultats furent attaqués par les savants qui trouvaient cette expérience trop imprécise pour être probante. Mais ne pourrait-on pas les admettre sous réserves en songeant à la puissance vitale que renferment les rayons actiniques ?

C) Phénomènes morphologiques produits par la lumière. — Tous les phénomènes précédents avaient pour caractère commun de s'exercer au bout d'un *temps très court* et les premières réactions n'avaient d'autre résultat que de placer les plantes dans les conditions les plus favorables à la réalisation des secondes (MANGIN 391). Mais si l'action de la lumière se prolonge, elle finit par provoquer des modifications morphologiques du végétal.

a) Le *tissu assimilateur* s'adapte aux diverses intensités lumineuses. Si la lumière est forte, on note l'existence du parenchyme en palissade ; si elle est faible, du parenchyme lacuneux. Chez le Hêtre commun (*Fagus silvatica*), cité par STAHL, on peut voir ces différences de structure sur les feuilles du même arbre selon qu'elles se trouvent à l'ombre ou au soleil.

De plus le *limbe* est d'autant plus grand que la lumière est moins forte.

b) Les *organes reproducteurs* sont également influencés par l'éclairement. KLEBS (375) a étudié cette action chez les Cryptogames. Il a vu par exemple que le *Polypodium aureum* (Fougère) ne développe pas d'organe sexué si la lumière est faible, que les *Closte-*

rium, les *Cosmarium*, les *Eldogonium* (Spirogyres) se comportent de même.

Les Phanérogames ne sont pas moins sensibles, mais les observations précises manquent. Cependant VÖCHTING (465 bis) a constaté qu'à une lumière faible les fleurs perdent tous les caractères (couleur, grandeur, parfum) qui auraient pu favoriser la fécondation par les insectes et devenaient *cleistogames*, c'est-à-dire se fécondaient elles-mêmes.

(c) *La germination des graines*, au moins chez la plantes, est défavorablement influencée par la lumière (BONNIER MAUGIN). *La germination du pollen* est tantôt retardée (Pervenches, Nénuphar, etc), tantôt accélérée (Coquelicot Campanule). Parfois aussi, comme chez la Capucine, on ne note aucune action dans un sens ou dans l'autre (MANGIN, 391). Enfin, *la germination des spores* a toujours été retardée par la lumière dans les expériences faites à ce sujet. On a même noté, surtout chez les spores à germination rapide, une action mortelle de la lumière (MANGIN, 391).

Cette dernière action de la lumière est de tous points comparable à celle qu'elle exerce sur les Bactéries et que nous avons déjà étudiée

3° Action de la lumière sur les Animaux

Pour conserver à cette étude un parallélisme aussi complet que possible avec la précédente nous suivrons un ordre identique et nous nous occuperons :

(A) des phénomènes mécaniques ;

VERWORN (463) a remarqué que certains infusoires

(B) des phénomènes chimiques ;

(C) des phénomènes morphologiques, dus à la lumière.

Mais comme le font remarquer très judicieusement MM. LEREDDE et PAUTRIER dans leur intéressant travail, il ne faut pas s'attendre à des résultats aussi nets et aussi probants que dans l'effet de la radiation sur la vie végétale. C'est que, chez les animaux, « surgit un facteur nouveau, le *système nerveux*, dont le rôle étant justement un rôle d'harmonie, de relation, d'équilibre, de rapport entre les différents organes, d'excitation pour chacun d'eux, va empêcher cette étude des fonctions isolées. Aussi l'étude de rôle de la lumière en physiologie animale est-elle encore simplement à l'état d'ébauche, et les expériences faites jusqu'ici ont-elles porté un peu au hasard sur les différentes fonctions de la vie animale (71 bis). »

A) Phénomènes mécaniques dus à la lumière. — Les rayons lumineux et spécialement les rayons chimiques peuvent produire chez les animaux des phénomènes d'orientation de mouvements, soit de l'organisme tout entier soit seulement d'une partie de cet organisme.

C'est là de la *photomotricité* ou de l'*héliotropisme animal* (R. DUBOIS), à mettre en parallèle avec l'*héliotropisme végétal*.

Des phénomènes de mouvements dus à la lumière ont été observés par AUERBACH dans l'œuf de la grenouille et des protistes quoiqu'on ne pût distinguer à ce moment ni différenciation du bioprotéon, ni pigment quelconque.

ciliés, *Ulotrix*, *Chamatoria*, *Chilomonas*, *Paramecium*) présentaient un héliotropisme positif vis-à-vis de la lumière faible, et un héliotropisme négatif pour une lumière intense.

R. DUBOIS (331 p. 278) a montré que le siphon d'un mollusque lamelibranche, la *Pholadedactyle*, s'incurve du côté de la lumière si elle arrive sur lui latéralement. Il y a donc contraction de la face éclairée. Parmi les Annélides tubicoles, le *Spirographis Spallanzani* et le *Serpula uncinata* orientent leurs tubes de façon à recevoir perpendiculairement les rayons lumineux sur leur couronne tentaculaire.

Dans ses belles recherches sur les Elatérides lumineux, le même auteur a montré que le *Pyrophore noctiluque* se dirigeait dans l'obscurité tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, selon qu'on masquait l'un ou l'autre de ses deux fanaux prothoraciques. La marche n'était plus rectiligne, mais curviligne, à concavité tournée du côté de la lanterne non masquée (R. DUBOIS, Les Elatérides lumineux, Paris, 1886, p. 218).

Parfois, les mouvements héliotropiques sont déterminés par des *lumières colorées*, l'animal préférant les unes aux autres et choisissant celles qui lui sont le plus profitables. C'est ainsi que JOHN LUBBOCK (383), en 1883, vit les fourmis sur lesquelles il expérimentait se placer presque toutes dans la zone ultra violette du spectre, invisible pour nous.

Le même auteur soutient que les *abeilles* auraient pour les couleurs un goût qui irait en croissant du rouge au bleu en passant par l'orangé, le vert, le jaune et le blanc. On a constaté récemment le même phénomène chez les *moustiques* et les *papillons* (FINSEN).

Mais, pour concilier ces résultats avec ceux que nous allons rapporter, il importe de considérer le milieu dans lequel vit habituellement l'animal mis en expérience. S'il vit sous terre, ou évite la vive lumière, il se réfugiera dans la zone orangée et rouge du spectre dont l'action chimique est nulle et équivaut à l'obscurité; s'il affectionne le soleil, il n'est pas douteux qu'il ne se déplace vers le violet et l'ultra-violet. Autrement dit, suivant que l'animal est *nyctalophile* ou *héméralophile* il se comportera différemment vis-à-vis des différentes couleurs. Mais il est bon, comme le font remarquer P. BERT et R. DUBOIS (331, p. 279) de ne pas prendre le terme de *nyctalophile* dans un sens trop absolu. Les animaux vont tous vers la lumière mais pour certains la lumière doit être très faible, à peine une lueur crépusculaire.

P. BERT vit les Daphnies se réfugier dans les zones jaunes et vertes du spectre.

Les limaces grises, les blattes se dirigent et se masquent dans le rouge et le jaune.

V. GRUBER, en 1882, a constaté que les lombrics, animaux sans yeux, de même que les salamandres privées artificiellement de la vue fuyaient le bleu, l'indigo et le violet reconnaissant ainsi, même par une *sensibilité cutanée* toute spéciale, que ces radiations leur étaient nuisibles. Ces animaux sont en effet *nyctalophiles* (359).

Suivant R. DUBOIS, (331 p. 280) les Pyrophores sont attirés par les rayons jaunes verdâtres faibles qui ont précisément la teinte de la lumière qu'ils émettent eux-mêmes. Il en est de même pour le lampyre. Ces

insectes fuient les rayons chimiques du spectre; ils évitent du reste naturellement la trop vive lumière du jour. Le *Proteus anguinus*, ce curieux animal aveugle des grottes de la Carniole, n'aime que la lumière rouge (R. DUBOIS, 329).

FINSEN a repris ces expériences dans ces dernières années et a confirmé les recherches de Gruber. Les *lombrics*, les *perce-oreilles*, les *cloportes* exposés à l'ensemble des couleurs spectrales vont se placer sous les moins réfrangibles (rouge, orangé).

La lumière peut provoquer aussi, non plus des déplacements de l'animal lui-même mais d'une partie de ses *plastides* (cellules) ou déterminer des modifications dans leur forme.

C'est ainsi que chez le caméléon MILNE-EDWARDS a montré, en 1834, que les changements de coloration du tégument sont dus au déplacement de cellules pigmentaires spéciales, les *chromatophores* ou *chromatoblastes*.

La lumière bleue et violette est la plus active sur ces déplacements, la lumière rouge est sans effet (P. BERT).

Les Chromatophores des céphalopodes et de certains batraciens offrent le même phénomène.

Chez la grenouille, FINSEN (344 bis) a pu obtenir après 10 à 15 minutes d'exposition aux rayons actiniques, une modification de la forme des globules rouges. Ils étaient plus ramassés, plus sphériques et s'éloignaient de leur forme bicouvexe et ovulaire normale.

Dans le même ordre d'idées, on peut noter la contraction subite du *Pelomyxa palustris* sous l'influence

d'une vive lumière. Après la contraction, cet Amibe reste immobile jusqu'au retour de l'obscurité (ENGELMANN, 341).

Enfin, chez certains infusoires ciliés comme le *Pleuro-nema chrysalis*, VERWORN a vu les longs cils s'agiter vivement à la lumière et cesser tout mouvement à l'obscurité au bout de quelques secondes, pendant lesquelles décroît l'effet de l'excitant lumineux (463).

Il y a plus. En dehors des mouvements que nous venons de noter, les rayons lumineux et spécialement les *rayons chimiques* sont « des promoteurs de vie et d'énergie » (FINSEN, (344 bis). Le chant de l'alouette au lever du soleil, l'immense joie que remplit la nature quand il apparaît, le frisson de bonheur qu'éprouvent les êtres à sa vue suffirait à le prouver. Mais FINSEN l'a démontré dans ses expériences restées célèbres. Il a vu les radiations bleues provoquer chez des larves de grenouille, chez des têtards, une vive agitation.

Les papillons battaient des ailes et manifestaient une extraordinaire activité.

KORANY a pu constater (376) que l'énergie des mouvements réflexes chez la grenouille était augmentée quand on exposait son tégument à la lumière. Il mit en évidence l'action des radiations actiniques seules en filtrant les rayons à travers une solution concentrée d'alun qui arrêtait les rayons calorifiques.

Dans l'œil, la lumière produit sur les cellules pigmentaires rétiniennes un double phénomène mécanique : la descente du pigment le long des bâtonnets et un raccourcissement de ces cellules ainsi que des cônes.

La *rétine dermatoptique* de la pholade dactyle se contracte directement sous l'influence de la lumière (R. DUBOIS, 330 et 331).

Enfin les mouvements spontanés de l'iris, même isolé de l'œil (BROWN SÉQUARD), prouvent qu'il y a des fibres musculaires lisses directement sensibles à l'excitant lumineux.

Il est bon de faire remarquer à ce propos que l'œil, comme la rétine dermatoptique de la Pholade étant spécialement destinés à la réception d'impressions *lumineuses*, ce ne sont plus les rayons extrêmes du spectre qui agissent le plus efficacement, mais le *jaune-verdâtre* (BROWN-SÉQUARD, RAPH. DUBOIS).

B. Phénomènes chimiques dus à la lumière. — Nous les diviserons en deux grandes catégories : phénomènes chimiques produits du côté de la peau (pigmentation) et modification des processus chimiques de la nutrition sous l'influence de la lumière.

La peau de la plupart des animaux (ceux du moins qui ne vivent pas dans l'obscurité) présente un *pigment* de couleur variable, mais dont la teinte devient en général beaucoup plus foncée sous l'influence de la lumière. La lumière, en effet, a sur les pigments une action très énergique. C'est au Professeur RAPHAËL DUBOIS, de Lyon, que l'on doit les expériences les plus intéressantes sur ce sujet. Parfois la lumière, et surtout les rayons chimiques, détruisent le pigment (ex. optogrammes dus à la destruction partielle du *rouge rétinien* ou *érythropsine*). Mais cette action est très lente. L'effet le plus ordinaire de la lumière est

le développement ou l'accroissement de la teinte du pigment. Nous avons vu en détail cette influence chez les végétaux où la chlorophylle est une conséquence directe de la radiation solaire. R. DUBOIS (331, p. 273) a montré que les choses se passaient de même chez les animaux. « La production de la *pourpre* est due à l'action de la radiation solaire sur le contenu d'un organe spécial, « la glande hypobranchiale » de certains mollusques gastéropodes appartenant plus particulièrement au genre *Murex*.

« Les matières « photogénées » qui constituent, par leur mélange, ce célèbre pigment tinctorial, ont été isolées sous forme de cristaux rouges et bleu foncé du *Purpura lapillus* ; elles dérivent, par réduction, de cristaux incolores et verts formés de substances très altérables à la lumière (A. LETELLIER). Ces dernières ne préexistent pas dans l'organe à pourpre.

Dans le *Murex brandaris*, elles se forment par l'action d'une zymaze, la *purpurase*, sur une substance soluble dans l'alcool, la *purpurine*, sécrétée par les cellules glandulaires caliciformes de la glande à pourpre ». Or, constatation extrêmement curieuse, ces cellules caliciformes sont en tous points semblables à celles de l'organe producteur de lumière chez la Pholade dactyle qui lui-même est un homologue de la glande à pourpre. « Mais, tandis que dans ce dernier il y a fixation d'énergie solaire avec phénomènes de réduction pour produire le pigment pourpre, dans la photogenèse il y a émission de lumière avec fixation d'oxygène. Deux organes homologues peuvent donc produire des phénomènes énergétiques inverses. »

Si l'on expose un caméléon à la lumière solaire, on voit sa peau devenir plus foncée par suite d'un effet direct de la lumière. L'effet se produit également bien après que l'animal a été rendu insensible par le chloforme. Il y a donc là une action locale et les rayons qui la déterminent sont les rayons actiniques. P. BERT a reconnu que la lumière rouge est inactive.

Chez le Protée, on voit la peau naturellement d'un gris rosé devenir grise, puis brunâtre à la lumière mais seulement dans les points qui ont été soumis à son action. Là encore cette production de pigment ne se produit pas dans la lumière rouge (R. DUBOIS, 331, p. 264). Le pigment formé se détruit assez vite si on place de nouveau l'animal dans l'obscurité.

Tout le monde sait que le pelage des animaux est plus foncé sur le dos, exposé au soleil, que sur la face ventrale qui regarde le sol; que les animaux des tropiques ont la robe ou le plumage beaucoup plus colorés que ceux de nos climats; que les animaux des régions polaires ont un pelage généralement blanc en hiver. On a reconnu aussi que les mollusques, les crustacés, les étoiles de mer sont incolores à partir de 200 brasses de profondeur environ. Ces faits sont en raison directe de l'intensité plus ou moins forte de la lumière.

VIRÉ a pu, dans des recherches récentes (LEREDDE et PAUTRIER, (71 bis, p. 76) faire disparaître un pigment naturel vert grisâtre chez le *Gammarus putaneus*, après vingt mois de séjour dans l'obscurité, et faire apparaître un pigment vert brun chez le *Niphargus putaneus* en l'exposant dix semaines à la lumière.

POULTON, MERRIEFIELD, SCHRÖDER ont pu colorer le

tégument de chenilles en les plaçant dans des boîtes fermées par des verres de teintes diverses. Et, phénomène très remarquable, la couleur obtenue correspondait justement à celle du verre qui fermait la boîte (*in* BOHN, 292, p. 72).

On peut donc conclure que la lumière exerce sur la production du pigment une influence énorme quoique le phénomène lui-même soit certainement d'ordre chimique ainsi que l'ont montré les recherches de R. Dubois sur la pourpre.

Nous verrons plus loin quel rôle il faut attribuer au pigment ainsi formé.

Mais la lumière ne se borne pas à produire des effets chimiques locaux ; elle modifie *d'une façon générale* les phénomènes chimiques d'où procède la vie des animaux. D'une façon générale, elle accélère toutes les fonctions organiques et les échanges avec le monde extérieur.

Nous ne parlerons pas de ces curieux Infusoires et de certaines Hydres chez lesquels existe une symbiose normale entre l'Infusoire naturellement incolore et certaines Algues unicellulaires contenant de la chlorophylle. La lumière agit sur ce pigment comme nous l'avons déjà vu à propos des végétaux.

MOLESCHOTT (400) imagina de noter la quantité d'acide carbonique émise par deux lots de grenouilles placées les unes à la lumière, les autres à l'obscurité, à une température rigoureusement identique. Il trouva que chez les premières CO^2 émis était d'un quart plus abondant par unité de poids du corps de l'animal.

SELMI et PIACENTINI confirmèrent les expériences précédentes en opérant sur des pigeons, des poulets, des chiens (448).

BÉCLARD avait trouvé que la respiration est plus intense à la lumière qu'à l'obscurité. POTT vit chez la grenouille la quantité de vapeur d'eau émise passer de 1 à 3 de l'obscurité à la lumière.

Mais comme on pouvait soutenir que ces effets n'étaient pas dus à l'action directe de la lumière sur les téguments, et étaient provoqués par les sensations lumineuses transmises au système nerveux au moyen des yeux, MOLESCHOTT détruisit les yeux de ses grenouilles à la pierre infernale. Il constata alors que les yeux avaient une notable influence sur l'émission de CO^2 mais que l'action de la lumière sur la peau avait un rôle plus important encore. Dans le premier cas, les quantités de CO^2 exhalées furent comme 125 (grenouilles intactes à la lumière) et 100 (grenouilles intactes à l'obscurité); dans le second cas comme 115 (grenouilles aveugles, à la lumière) et 100 (grenouilles intactes, à l'obscurité).

FUBINI, expérimentant directement sur la substance nerveuse centrale, vit que la quantité de CO^2 qu'elle émettait à la lumière et à l'obscurité était dans le rapport 131 à 100.

Le même auteur essaya l'action de la lumière sur des grenouilles qu'il avait privées de leurs poumons. Le rapport de CO^2 émis à la lumière et à l'obscurité fut comme 135 est à 100. L'action sur la peau est ici d'une évidence très nette (351).

Enfin YUNG, opérant sur des têtards placés dans des

vases colorés, les laissa mourir de faim. Les premiers qui périrent furent ceux soumis à la lumière violette qui avait augmenté leur activité et par suite accru une dépense de forces qu'ils ne pouvait renouveler (472 bis).

Des recherches de BIDDER et SCHMITT sur le chat, de FUBINI sur la grenouille ont donné des résultats analogues à celui de Yung.

Les expériences toutes récentes de BORISSOFF (428 bis) viennent donner aux résultats précédents une éclatante confirmation, loin de les contredire comme le soutiennent LEREDDE et PAUTRIER (71 bis), je ne vois pas pourquoi. Des animaux de même âge et de même poids furent placés dans les mêmes conditions de température, d'aération et de nourriture, mais les uns étaient maintenus à l'obscurité, les autres exposés à la lumière. Or on vit ces derniers gagner plus de poids que les premiers. Je trouve la chose très naturelle. Sous l'influence de la lumière les échanges organiques se faisant mieux, les animaux retiraient plus de profit d'une même quantité de nourriture. C'est une remarque que peuvent faire tous les jours, sur l'homme, les médecins qui habitent, pendant l'été, les stations d'altitude où la lumière est plus intense que dans les villes.

Enfin, MARTY et MEYER (396) ont montré, chez le rat, qu'un séjour de deux semaines dans l'obscurité complète diminue notablement le nombre des globules sanguins tandis que leur nombre s'accroît sous l'influence de la lumière. Pour être sincère, j'ajoute que BORISSOFF n'a pu vérifier ces derniers résultats.

Je laisserai sous silence les curieuses expériences de POËY (411) et du général PLEASANTON (410) qui fit engraisser rapidement, prétend-il, des porcs et des taureaux dans des étables éclairées par de la lumière violette. Le contrôle scientifique qui entourait ses recherches ne fut pas suffisant pour les admettre sans vérification.

Nous concluons avec le Dr A. BELLINI (286, p. 134) que la lumière est un des grands facteurs des échanges matériels entre les animaux et le monde extérieur. « C'est la force qui active les fonctions organiques, c'est le fluide qui alimente incessamment la flamme de la vie ; elle nous pénètre tous les jours, constamment, et mérite pour cette raison qu'on lui fasse en biologie une place de premier ordre. FINSEN s'en rendait parfaitement compte lorsque dans ses premières études sur la lumière comme agent d'excitabilité, il faisait espérer que ses recherches auraient un notable profit pour la médecine et pour l'hygiène ».

C. Phénomènes morphologiques produits par la lumière.
Les premières recherches sur ce sujet remontent à W. EDWARDS (336) qui, vers 1825, avait constaté que le passage de la vie de têtard à celle de grenouille adulte était ralenti par l'obscurité.

En 1858, BÉCLARD poursuivit des recherches analogues sur des œufs de mouche. Il s'aperçut que leur développement était plus rapide à la lumière et qu'entre les radiations de diverses couleurs, les violettes et les bleues étaient les plus aptes à produire cet effet (282 et 283).

En 1878, YUNG (472 bis) reprit les expériences précédentes sur les grenouilles et des œufs de poissons. Il opéra en lumière verte et en lumière violette. Dans tous les cas il obtint une accélération de développement par la lumière violette. Ainsi, au bout de 53 jours, il obtint avec des radiations de cette couleur l'éclosion de divers œufs de poissons, tandis qu'au bout de 75 jours aucun œuf n'avait encore éclos dans le vase vert.

NEUBURGER sur les insectes, SERRANO-FATIGATI sur les infusoires ont obtenu des résultats identiques.

Tout récemment, LEREDDE et PAUTRIER (381 bis) ont répété les expériences de Yung sur des têtards de *rana temporaria*, de même âge, de même taille et de même grosseur. Au bout d'un mois de séjour les uns dans un bocal en verre rouge, les autres dans un bocal en verre *bleu-violet*, ceux du dernier bocal étaient devenus de véritables grenouilles et n'avaient plus de membrane caudale. Les têtards du bocal *rouge* étaient tous *restés à l'état de têtards* et avaient encore leur membrane caudale.

Les mêmes auteurs (dont les recherches ont été confirmées par celles que faisait à la même époque JAKIMOVITCH en Russie) ont montré le pourquoi de cette rapidité de développement à la *lumière bleu-violette*. C'est en effet pour cette couleur que se montrent le maximum des phénomènes karyokinétiques de division cellulaire.

Ajoutons enfin que l'organe de la vision, l'œil, s'atrophie quand les animaux cessent de vivre à la lumière (animaux des cavernes et des profondeurs abyssales.)

La lumière pourrait-elle influencer sur la *production des sexes* ? Les expériences de MM. FLAMMARION et MATHIEU semblent le démontrer. Après des recherches poursuivies avec patience pendant plusieurs années à la station climatologique de Juvisy ils ont constaté qu'avec les vers à soie (*Bombyx mori*) la proportion des femelles est de 50 pour 100 à l'air libre et dans le rouge clair. Sous le verre violet pourpre, la proportion s'élève à 54 et 56 pour 100, puis descend jusqu'à 39 et 37 dans le *bleu* qui donne 63 pour 100 de mâles. Il ne faudrait cependant pas tirer de ces expériences la même conclusion humoristique que M. E. GAUTHIER (Année scientifique, 1899, p. 180). « Puisqu'il est aujourd'hui démontré que des vers à soie exposés aux rayons violets procréent 54 femelles alors que les mêmes individus influencés par la lumière bleue donnent le jour à 63 mâles, il ne serait pas impossible d'obtenir *ad libitum* et presque à coup sûr des garçons ou des filles... Simple question de vitraux ! »

Une conclusion s'impose : la lumière modifie le développement des animaux, mais toutes les radiations ne sont point également efficaces. Les rayons rouges se comportent à peu de chose près comme l'obscurité ; les *rayons actiniques* sont au contraire très actifs. L'action de la lumière sur l'homme donnera encore plus de force à cette affirmation.

*
* *

4^e Action de la lumière sur l'homme.

Les philosophes nous enseignent que l'homme, supérieur aux animaux par son organisation plus parfaite,

s'en distingue encore par l'existence d'une âme. Ce n'est pas à nous d'en prouver l'existence, mais il suffit de savoir qu'elle existe pour comprendre que la lumière va exercer sur nous une double action, action *physique* et action *morale* ou action sur l'idéation. Nous étudierons successivement ces deux aspects de la question. Nous aurions même voulu disposer de plus de place pour traiter plus complètement la seconde partie, qui forme un des chapitres les plus intéressants de l'action sur nous du monde extérieur, autrement dit de la *psycho-physique*.

A). Action de la lumière sur l'organisme humain. —

a) *Action générale*. — A part l'action sur la peau, nous en savons bien peu de chose. L'énorme influence du système nerveux crée une difficulté presque insurmontable pour savoir quelle part revient dans les expériences à la lumière seule.

Cependant il est des faits tellement connus que nous ne pouvons les passer sous silence.

La vie sexuelle commence beaucoup plus vite dans les pays où l'intensité lumineuse est plus grande (1). Les nègres deviennent adolescents vers 10 ou 12 ans. La menstruation est beaucoup plus précoce chez les femmes des tropiques. Par contre on la voit manquer chez les femmes esquimaux pendant les six mois de la vie polaire.

Les échanges organiques sont différents le jour et la nuit. L'urine du jour est toxique et narcotique, l'urine

(1) Il est vrai que ces pays sont aussi les plus chauds.

de nuit est moins toxique et convulsivante (BOUCHARD).

La sensibilité et l'activité sont plus grandes le jour, plus faibles la nuit. Pendant la nuit encore, les échanges organiques diminuent et la température s'abaisse.

Voilà des faits, mais leur explication reste jusqu'à présent inconnue. Aussi nous n'insisterons pas sur l'action générale de la lumière sur l'organisme humain. Cependant, il y a tout lieu de penser qu'elle doit produire des effets identiques à ceux que nous avons constatés chez les animaux : rapidité du développement, accroissement des échanges organiques, relèvement de l'appétit et des forces et j'ajoute : protection de l'organisme contre les infections par la destruction des germes morbides.

Ce qui a fait la solidité des premiers hommes, c'est assurément le contact perpétuel de leur corps avec les rayons du soleil ; ils étaient *imprégnés de lumière*. Combien nous leur ressemblons peu, nous dont la préoccupation constante semble être de soustraire à la lumière tout notre être, jusqu'au visage, n'en déplaie au sexe aussi aimable que gracieux. Dès que l'enfant est né, c'est le maillot, c'est l'obscurité pour ses membres qui auraient tant besoin de lumière, qui réclament à toutes les énergies extérieures le moyen de grandir et de se développer. Et l'on s'étonnera après cela qu'il y ait tant de morts parmi les nourrissons, tant de rachitiques et de scrofuleux parmi ceux qui arrivent à la vie malgré toutes les précautions qu'on prend pour paralyser leur croissance ! Voyez les enfants de nos campagnes, nourris de la pure énergie que rayonne le soleil : bras nus, jambes nues, une légère chemise sur

le torse, ils grandissent, et ce sont eux qui forment le noyau solide des meilleures énergies nationales (1). Que leur a-t-il fallu pour être vaillants et forts ? Point de dorloteries inutiles, beaucoup de lumière et beaucoup de soleil.

b) *Action locale ou action sur le tégument.* — Cette action est très spéciale et très remarquable. Elle a été étudiée avec beaucoup de soin et c'est elle qui fait la base de la méthode de thérapeutique cutanée dite *méthode photothérapique* du professeur FINSEN.

Nous nous bornerons à l'étude de l'action de la lumière sur la *peau normale* et nous verrons successivement les *accidents aigus*, les *accidents chroniques*, leur *pathogénie* puis le *rôle du pigment*.

Nous n'avons pas la prétention d'apprendre à personne ce que c'est que le *coup de soleil* ou le *coup de soleil des glaciers* (2). On sait que ces érythèmes apparaissent sur les parties du tégument exposées directement au soleil ou à la reverbération de la neige. Ils se traduisent par de la rougeur, une élévation de la température locale, un peu de tuméfaction et de l'hyperesthésie douloureuse. Un fait important, c'est que ces phénomènes ne se produisent que *quelques heures après l'action de la lumière*. La terminaison se fait par une desquamation plus ou moins marquée des téguments et une pigmentation, variable suivant les sujets, de la zone irradiée.

(1) Voir sur l'utilité des bains de soleil chez les enfants, CARADEC, (311).

(2) Voir *sur le coup de soleil des glaciers* WIDMARK (470) et STREBEL (453).

Mais le soleil n'est pas le seul à causer de pareils accidents. Les sources artificielles de lumière très puissante peuvent les déterminer. On ne connaît guère cependant que l'érythème *photo-électrique* dû à l'arc voltaïque et l'érythème *des verriers* produit par l'intense rayonnement lumineux du verre en fusion (RAYNAUD, 424).

Les premières observations de l'érythème photo-électrique ne sont pas très anciennes. La première en date est celle de CHARCOT (311), relative à deux chimistes qui faisaient des expériences de fusion de diverses substances au moyen de l'arc voltaïque alimenté par 120 éléments Bunsen. Ils eurent un érythème douloureux des parties du visage frappées par la lumière électrique. Au quatrième jour la peau desquama.

La ressemblance de la lésion avec le coup de soleil lui fit donner le nom de *coup de soleil électrique*. Les observations en sont nombreuses aujourd'hui. Nous nous bornerons à rappeler les trois qui sont classiques : celle de DEFONTAINE sur des ouvriers employés aux usines du Creusot à la soudure de pièces d'acier au moyen de l'arc électrique (323) ; celle du docteur MAKLAKOW, qui eut l'occasion de constater sur lui-même un coup de soleil électrique pris en assistant à une soudure faite dans les mêmes conditions (390) ; celle enfin de FINSEN qui présenta ainsi que ses aides une série d'accidents cutanés pour s'être exposé à la lumière d'un arc donnant 40.000 bougies soit 10 fois la lumière d'une puissante lampe à arc ordinaire.

Si la source est très riche en rayons de très petite

longueur d'onde (arc au fer de Broca-Chatin) les lésions sont beaucoup plus intenses tout en restant superficielles.

LEREDDE, PAUTRIER (71 bis, p. 91) ont essayé d'obtenir ces accidents pour les étudier ensuite au point de vue histologique à l'aide de biopsies pratiquées à des intervalles de temps assez longs après l'application. Ils ont parfaitement réussi.

Enfin MAGNUS MÖLLER (400 bis) a pu reproduire expérimentalement, avec un arc de 4.000 bougies, les aspects chimiques du coup de soleil ordinaire et des différentes affections cutanées qui semblent être sous la dépendance de la lumière solaire.

Quelle était la *pathogénie* de ces lésions; étaient-elles causées par certaines radiations plus actives que d'autres? C'est ce que se demanda Charcot après l'observation citée plus haut.

CHARCOT (311) émit l'hypothèse que les *rayons chimiques* étaient seuls en cause. L'idée était nouvelle, car jusqu'à lui *coup de soleil* et *coup de chaleur* restaient synonymes. Mais Charcot éliminait l'action calorifique en raison de la grande distance des expérimentateurs au foyer lumineux.

Les expériences de FOUCAULT prouvaient qu'il ne fallait pas incriminer les rayons lumineux, puisqu'en présence d'étincelles électriques très peu éclairantes il avait ressenti des maux de tête et des troubles visuels considérables.

Mais si l'exclusion des rayons caloriques fut assez vite adoptée, l'exclusion des rayons lumineux ne se fit

pas sans discussion. A Bordeaux, dans une discussion, à la Société de médecine et de chirurgie, le docteur SOUS (449) incriminait les rayons chimiques, tandis que le docteur MARTIN leur déniait toute action et soutenait l'action nocive des rayons lumineux (392).

BOUCHARD, dans ses recherches sur la pellagre (301), imagina d'étudier l'action sur la peau des diverses couleurs spectrales. Il concentrait chacune d'elles au moyen d'une lentille et plaçait au foyer ainsi obtenu son avant-bras pendant 30 secondes. Il arriva aux résultats suivants :

Les rayons violets produisirent une phlyctène ;

— bleus — cuisson et érythème ;

— verts — très léger érythème ;

— jaunes — une légère cuisson ;

— rouges ne produisirent aucune action.

Il rechercha ensuite quel était le *temps minimum* nécessaire pour arriver à une même lésion avec les différentes radiations. Il constata ainsi que les rayons violets donnent en 12 secondes de l'érythème avec soulèvement de l'épiderme, que les rayons bleus donnent l'érythème seul en 15 secondes, les verts en 18 secondes, les jaunes en 17 et les rouges en 18 secondes.

Enfin, dans une troisième série d'expériences, BOUCHARD s'efforça de supprimer la majeure partie des rayons calorifiques en obligeant le faisceau lumineux à traverser une nappe d'eau. Les résultats obtenus plus haut restèrent les mêmes.

Il était dès lors permis, après cette série de remarquables expériences, d'arriver aux conclusions suivantes :

1° Les effets produits sur la peau sont d'autant plus intenses qu'on s'adresse à une région du spectre plus riche en rayons chimiques ;

2° Le temps nécessaire pour obtenir le même effet est d'autant plus court qu'on opère avec des rayons plus réfringibles, plus voisins de l'ultra-violet ;

3° Les rayons calorifiques ne jouent aucun rôle dans la production de ces accidents. Ceux-ci sont dus exclusivement aux *rayons chimiques*.

WIDMARK de Stockholm, HAMMER de Stuttgart et FINSSEN de Copenhague, devaient confirmer pleinement les recherches de Bouchard.

WIDMARK (470), interposant entre la peau et la source lumineuse une simple lame de verre, supprima tous les accidents. En remplaçant la lame de verre par du quartz les lésions ne tardaient pas à se produire. C'est que le verre arrête presque tous les rayons chimiques tandis que le quartz les laisse passer et Widmark pouvait conclure :

1° Par l'action de tous les rayons, excepté les rayons ultra-violets, la peau ne présente aucun changement ;

2° Par l'action de tous les rayons, excepté les rayons calorifiques, l'inflammation caractéristique se développe.

HAMMER, à la suite de ses recherches personnelles, formulait des conclusions identiques à Leipzig, en 1891 (361) :

4° L'érythème solaire est provoqué par les *rayons ultra-violets* de la lumière...

5° Une cause importante de cette affection est la désaccoutumance de la peau à la lumière ;

6° L'effet isolé de la chaleur sans lumière sur la peau

est absolument différent de celui provoqué par la lumière :

7° La lumière électrique, à cause de ses rayons ultra-violets, est très excitante pour la peau ;

8° Les étoffes ou préparations qui empêchent les rayons ultra-violets de tomber sur la peau protègent celle-ci contre l'érythème solaire.

FINSEN, en 1900, reprit les expériences ci-dessus avec une lampe à arc de 80 ampères. Les conclusions furent en tous points comparables aux précédentes. Il remarqua même qu'avec une source de pouvoir active aussi intense que celle dont il se servait, la réaction cutanée était plus forte qu'après une exposition aux rayons directs du soleil pendant le mois d'août.

Lorsque parut l'appareil Lortet-Genoud pour la photothérapie, quelques auteurs voulurent encore faire intervenir les rayons calorifiques dans les effets produits sur la peau. A cause de la faible distance entre les téguments et l'arc on pouvait peut-être y songer. Mais les expériences de A. CAPDEVIELLE (310) et de M. le professeur agrégé BORDIER (300) ont démontré qu'il ne fallait là encore considérer comme actifs *que les rayons chimiques*.

M. BORDIER, dans une série d'expériences aussi originales qu'ingénieuses, eut l'idée de faire circuler dans le compresseur de l'appareil Lortet-Genoud une solution d'iode dans le chloroforme qui arrête complètement les rayons chimiques et transmet sans affaiblissement sensible les rayons calorifiques. Or jamais dans ce cas l'application de la peau contre le compresseur, même pendant 4 minutes, ne donna lieu à une réaction quelconque.

Il résulte donc de toutes les expériences précédentes jointes à celles de M. BORDIER, que l'action du soleil comme l'action de l'arc sur les tissus *est due seulement aux rayons actiniques de petite longueur d'onde* et que l'érythème ou la vésication constatés ne sont en aucune façon le résultat des rayons calorifiques.

Lorsque la lumière est intense et que les tissus y restent exposés trop longtemps on arrive au coup de soleil ou à l'érythème photo-électrique, mais *après les phénomènes inflammatoires* on voit la peau rester plus teintée que la région voisine. Elle est aussi devenue moins sensible à l'action des rayons chimiques. Il s'est produit ainsi une réaction protectrice ou défensive de l'organisme, la *pigmentation*. Mais cette teinte plus foncée des téguments, ce hâle que connaissent bien tous ceux qui vivent en plein air (paysans, marins, bicyclistes, automobilistes) n'est pas forcément précédé de lésions inflammatoires revêtant l'aspect du coup du soleil. C'est lentement, *chroniquement*, que se développe cette pigmentation qui peut atteindre une coloration assez foncée comme nous avons eu souvent l'occasion de le constater sur le torse des déchargeurs de sable du Rhône.

Il n'y a du reste rien d'étonnant à ce que l'action lente et répétée de la lumière puisse produire de pareilles modifications de la peau.

FINSSEN a vu toujours une dilatation des vaisseaux et des capillaires de la peau sous l'influence de la lumière. Il a pu même assister à l'émigration de glo-

bules blancs et de quelques globules rouges hors des vaisseaux. LEREDDE et PAUTRIER (71 bis), MÖLLER (400 bis) ont confirmé les constatations du savant professeur de Copenhague.

FINSEN (344 bis) a même essayé de montrer que cette action de la lumière (qui se produit lentement et persiste longtemps après la suppression de la cause inductrice) était très favorable pour la peau. Plus les capillaires sont dilatés, mieux le sang circule dans la peau qui se nourrit davantage. De là à l'action bienfaisante des bains de lumière il n'y a qu'un pas. Du reste, pour justifier son opinion, FINSEN cite BERTHOLD qui a constaté que la barbe, les cheveux, les ongles poussent plus vite en été alors que la lumière est plus intense ; il cite aussi les résultats de son enquête chez les coiffeurs qui affirment raser moins souvent leurs clients en hiver qu'en été.

Mais à côté de ces modifications vasculaires vient se placer la *pigmentation*, qui n'est peut-être qu'une conséquence de la première action. On a proposé plusieurs théories pour expliquer ce phénomène. Les uns ont voulu y voir un processus de défense (FINSEN, GIARD) par lequel l'organisme se protégeait contre les rayons actiniques. D'autres, parmi lesquels BOHN (292), frappés du rôle joué par le pigment, admettent à côté des *harmonies physiques et chimiques* des *harmonies pigmentaires*. BOHN rejette l'explication darwinienne qui admet la fixation d'une variation due au hasard par la sélection naturelle et se rattache à la théorie de Lamarck qui explique la création d'une variation par un processus d'adaptation au milieu.

Mais nous sommes frappés de la justesse de l'observation que font à ce propos MM. LEREDDE et PAUTRIER (71 bis, p. 117). Comment, dans toutes les recherches que nous avons rapportées, on voit la lumière exercer sur les êtres, par ses rayons chimiques, une action indispensable et notre organisme cherche à s'en garantir, à s'en défendre par une production de pigment ! Il y a là, semble-t-il, une flagrante contradiction.

Mais la contradiction n'est qu'apparente. Le pigment n'est destiné qu'à ramener à une dose bienfaisante l'agent actif dont l'excès pourrait amener des perturbations dangereuses. Il y a là un *processus d'adaptation* plutôt qu'un processus de défense.

Peut être même, mais c'est une pure hypothèse, le pigment animal joue-t-il un rôle analogue à la chlorophylle chez les végétaux. Peut-être transmet-il à l'organisme des énergies spéciales résultant de la transformation de l'énergie chimique. On aurait ainsi une explication rationnelle de la vivacité, de l'exubérance des races du Midi, de la quantité de travail qu'elles peuvent fournir avec une ration alimentaire souvent bien insuffisante, de leur résistance aux maladies et en particulier à la *tuberculose* (1). Se nourrir « de l'air du temps », comme le dit le proverbe, ne serait plus dès lors une joyeuse conception de l'esprit.

Nous aurions voulu dire un mot des réactions inflammatoires, des maladies véritables, produites par un excès de rayons chimiques sur une peau trop sen-

(1) Cf. Sur la résistance des Arabes à la tuberculose : *Lyon Médical* (384 bis).

sible ou placée dans de mauvaises conditions par un état morbide. Mais nous préférons les rattacher à la partie thérapeutique de cet ouvrage (section de l'*apho-tothérapie*). Nous nous bornerons à indiquer d'avance leur nom : eczéma solaire, hydroa vernal de Bazin, éphélides, xéroderma pigmentosum de Kaposi ou épithéliomatose pigmentaire de Besnier, érythème pella-greux. Après les avoir étudiées nous indiquerons les moyens d'y remédier.

B. Action de la lumière sur l'idéation

L'influence de la lumière ne s'exerce pas seulement sur nos organes pour favoriser leur développement, elle agit encore sur notre esprit. L'homme en subit au point de vue intellectuel plus encore qu'au point de vue physique et matériel l'irrésistible domination.

« La pensée, enchaînée et muette dans un endroit obscur, se dégage et s'anime le soir dans une salle éblouissante de clarté. Nous ne pouvons pas éviter les fâcheuses dispositions que provoque un temps sombre et pluvieux, ni résister à l'élan joyeux que donne le spectacle d'une journée radieuse. Il faut ici confesser notre esclavage, aimable servitude au demeurant et qui ne nous procure que des douceurs. Et pourquoi ne nous mettrions-nous pas à l'unisson de toutes les choses animées et inanimées, qui, sitôt que la lumière les touche, vibrent, tressaillent, et manifestent dans mille langages divers la volupté stimulante et enchanteresse de ce contact? C'est instinctivement et spontanément que nous la recherchons partout, et

que nous sommes toujours heureux de la découvrir. Aussi, quel rôle elle joue et quel charme elle introduit dans les œuvres de la poésie et de l'art ! » (622).

Peut-être développerons-nous un jour ce chapitre attrayant et presque inédit de l'esthétique. Ce serait beau en effet de montrer les relations du Soleil et de l'art, et d'indiquer l'influence qu'ont pu avoir sur le physique et le moral des peintres, des poètes et des musiciens les aspects changeants du ciel selon la latitude ou la saison, ou selon les heures de la journée.

Nous n'en donnerons ici pas même une esquisse rapide, nous nous bornerons à signaler quelques faits qui pourront servir de jalons à une étude ultérieure.

La lumière est la véritable beauté de notre monde, elle varie à chaque instant sa grâce. On peut sur elle répéter chaque jour le mot de Charles d'Orléans :

*Qui d'elle pourrait se lasser ?
Toujours sa beauté renouvelle.*

Par une sorte d'instinct, nous qualifions de lumineuses, de brillantes, les choses ou les êtres que nous aimons. On a parlé de « la *lumineuse* présence d'un ami » (MARY, 621, p. 2) et l'expression n'était point exagérée ; un ami ne peut-il pas jeter la joie en notre âme, l'illuminer à son gré par sa présence.

*Comme le soleil fait serein ou pluvieux
L'azur dont il est l'âme et que sa clarté dore ?*

(V. HUGO, *Les Contemplations*, 613, I, p. 95).

Les fleurs, les oiseaux ne nous plaisent-ils pas parce qu'ils apportent avec eux un rayon de soleil ? Écoutez René BAZIN. « Il vous arrive de recevoir des fleurs

de Nice, dans les saisons ingrates. N'est-ce pas, Madame, que le moindre brin de mimosa, celui même qu'on n'eût pas cueilli sur l'herbe, là bas, cause une émotion douce et presque reconnaissante? On ne jette pas la feuille verte, même froissée, même pâlie; on regarde avec des yeux qui voient toute la branche en fleur, les houppes jaunes, toutes menues, qui ont un peu de parfum et *un peu de soleil* en elles » (612). Et VICTOR-HUGO :

..... *Ces oiseaux sont dans leur fonction*
Laisse-les. Nous avons besoin de ce rayon...
Homme, ils sont la gaieté de la nature entière :
Ils prennent son murmure au ruisseau, sa clarté.
A l'astre, son sourire au matin enchanté.

(*Les Contemplations. Les Oiseaux*, 613, I, p. 59)

Quand Laure apparaissait à Pétrarque pour la première fois, un matin d'avril, la *lumière* qui brillait dans ses yeux était *si douce* que le poète laissait prendre son cœur :

Nova angetta sovra l'ale accorta
Scese dal Cielo in su la fresca riva.
Là 'nd'io passava sol per mio destino :
... Allora fui preso, e non mi spiaque poi :
Si dolce lume uscia de gli occhi suoi.

(CANZONE. XXIII).

Ce que l'on peut traduire bien simplement: « Pareille à un ange nouveau, gracieuse sur ses ailes — Elle descendit du ciel au rivage, — Là où je passai seul pour mon destin : — ... Alors je fus pris — Mais je n'en eus point de peine, — Car il y avait dans ses yeux *une si douce lumière* » (614, p. 328).

Il est des âmes profondément éprises de Lumière, amoureuses de sa beauté. MARY, la fille de la princesse M. Ouroussow jetait sur son carnet des pensées comme celles-ci :

*Ich vill dich lieben, schönstes Licht
Bis mir das Herze bricht!* (1)

Tout pour elle était une envolée vers de radieuses clartés. Musicienne accomplie, elle parlait ainsi de Mozart : « Mozart, c'est l'amour, « a well of love, a spring of light » : une fontaine d'amour, une *source de lumière*. La musique la ravissait parce qu'elle lui donnait des *échappées de l'éternelle lumière* « it gives me glimpses of *that eternal light* (621, p. 83). Peu de temps avant sa mort elle écrivait encore au milieu de ses notes : « Mehr Licht! » *plus de lumière*, comme Goethe expirant.

L'oiseau qui salue le Soleil à son lever résume l'impression universelle de bonheur qu'il communique à la nature. « Tel l'oiseau, et tel l'homme. Les antiques Védas d'Inde sont à chaque ligne un hymne à la lumière, gardienne de la vie, au soleil, qui chaque jour en révélant le monde, le crée encore et le conserve... » (MICHELET 617, p. 132).

Aussi, quand le Soleil se couche, c'est une grande tristesse. C'est le deuil quotidien du monde et ce spectacle a beau se renouveler chaque jour, « il a sur nous même puissance, même effet de mélancolie. » Aussi je comprends bien ce mot échappé à un fervent ami de la mer : Lorsque le Soleil n'y est plus, la mer n'a point

(1) Je veux t'aimer, Lumière splendide, — Jusqu'à ce que mon cœur se brise (621, p. 79).

d'amour, point de caresses. Elle devient seule à l'infini. »

Mais ce n'est pas seulement la lumière blanche qui peut exercer sur nous des modifications psychiques. On sait que le noir, le violet, le bleu foncé sont des couleurs tristes, de deuil, tandis que le vert clair, le jaune, le bleu clair, le rose sont des couleurs gaies.

L. DOR a pu déterminer chez des neurasthéniques des excitations allant jusqu'au vertige en leur faisant fixer une large surface rouge, tandis qu'avec le vert il n'a jamais pu obtenir ce résultat. La lumière verte produirait donc plutôt un effet calmant.

On peut citer comme exemple l'intéressante observation des FRÈRES LUMIÈRE (331, p. 277). Autrefois, leurs ateliers de plaques photographiques étaient éclairés par des verres rouges rubis; or ils avaient remarqué qu'à cette lumière des ouvriers, même très calmes, ne tardaient pas à manifester tous les symptômes d'une excitation cérébrale anormale : ils parlaient, gesticulaient, chantaient et... manifestaient dans leurs actes une certaine gauloiserie qui nuisait au bon ordre de l'usine.

On eût l'idée d'éclairer les ateliers en vert cathédrale, depuis les ouvriers sont plus calmes, les conversations sont redevenues normales comme les chants et la fatigue est moindre à la fin de la journée.

CH. FERRÉ, qui a étudié l'influence de la lumière blanche et colorée sur le travail et la fatigue, a noté : 1° que le travail ergographique devient plus grand quand on passe de l'obscurité à la lumière ; 2° que les verres colorés mais surtout les rouges provoquent un surcroît de travail.

R. PISANI (409) dans des recherches récentes et faites avec grand soin a montré que la lumière *bleue* favorise le travail musculaire et augmente la résistance à la fatigue. Après avoir démontré expérimentalement que rien de semblable ne se manifeste avec la lumière blanche ou la lumière rouge, l'auteur conclut que la lumière bleue est un excellent moyen d'activer le travail musculaire.

GRIESBACH (331, p. 277), a constaté que le travail manuel fatigue plus vite les aveugles que ceux qui voient.

SCHMIDT-RIMPLER (441) parle du délire et des troubles psychiques constatés dans des cliniques ophtalmologiques où les malades étaient maintenus dans l'obscurité à la suite de graves opérations.

PONCET (412) rapporte un cas de délire nerveux causé par une cécité accidentelle.

D'autre cas de troubles psychiques consécutifs à des opérations sur les yeux sont rapportés par FRANKL-HOCHWART (347), par LANDESBERG et par ELSCHNING (338).

La lumière exerce aussi une influence favorable sur le travail intellectuel.

HUMPERDINCK interrogé sur le moment où il aimait le mieux composer répondait que c'était lorsque sa chambre était illuminée par le soleil (367).

GOUNOD se réfugiait « à l'Oustalet dou Capelan » près de Saint-Raphaël, pour composer *Roméo et Juliette*, Et l'inspiration lui venait à la vue de la Méditerranée splendide, de ses rochers qui brillent au

soleil, de ses petites vagues bleues qui venaient finir à ses pieds en une lumineuse écume.

NIETSCHE (245) avouait que dans un jour couvert et nébuleux il se sentait un autre homme, d'humeur noire et méchante. Il avait coutume de dire que son œuvre la meilleure « *Zarathustra* » était née en des jours de lumière et sous un ciel toujours bleu.

Moi-même, j'ai ressenti bien souvent cette salutaire influence ; j'avoue que les meilleures pages de ce travail sont celles qui ont été écrites de très bonne heure, aux premiers rayons du soleil alors que tout dormait encore dans la grande cité lyonnaise.

Pour qui se souvient de l'influence énorme, capitale du système nerveux chez l'homme, il y a dans tous ces faits matière à réflexion sérieuse. On a déjà essayé des cures thérapeutiques par la lumière colorée et on a obtenu d'encourageants résultats. Ne faudrait-il pas rattacher à cette influence des couleurs sur notre esprit cette sensation de bien-être et de calme profond qui nous envahit quand nous allons à la campagne ou dans les stations alpestres ? Là tout est vert, radiation essentiellement reposante ; là tout est lumière. Rappelons-nous que c'est de la lumière que surgit l'énergie primitive. Pourquoi, quand nous défailons, n'irions-nous pas nous refaire à la source débordante qui nous invite à y puiser ?

CHAPITRE XIII

Action physiologique des rayons de Röntgen

La découverte du professeur Röntgen n'avait tout d'abord attiré l'attention du monde savant et du public qu'à cause des propriétés singulières des nouvelles radiations. Elles traversaient les corps opaques, permettaient d'examiner l'intérieur du corps vivant, autant de choses prodigieuses qui suffisaient amplement à susciter autour d'elles l'enthousiasme. De tous côtés on voulut recommencer l'expérience ; les chirurgiens et les médecins voyant tout le parti qu'on pouvait tirer de ce nouveau mode d'examen se mirent à perfectionner les méthodes radioscopiques et radiographiques. Et voici qu'en multipliant les séances, en les prolongeant pour obtenir des photographies plus nettes, on s'aperçut que le gélatino-bromure n'était pas seul à être influencé par les nouveaux rayons X. Malades et médecins ne tardèrent pas à constater des lésions jusqu'alors inconnues du côté de la peau, en

même temps que des troubles singuliers, des perturbations plus ou moins graves dans la santé générale.

C'est cette action physiologie des rayons de Röntgen dont nous allons nous occuper maintenant en suivant l'ordre que nous avons adopté et en allant des organismes les plus simples aux plus complexes. Nous étudierons donc successivement :

- 1° Action des rayons de Röntgen sur les microbes ;
- 2° Leur action sur les végétaux ;
- 3° Leur action sur les organismes animaux élémentaires ;
- 4° Leur action sur les animaux ;
- 5° Leur action sur l'homme.

Nous envisagerons, dans la quatrième et cinquième partie, l'action sur les *téguments* puis sur les *organes profonds*. Les *trouble fonctionnels généraux* trouveront dans ce dernier paragraphe une place tout indiquée.

Nous verrons ensuite rapidement ce que l'anatomie pathologique nous apprend au sujet des lésions profondes des tissus atteints de radiodermite et les hypothèses que la physiologie pathologique propose pour expliquer ces désordres.

On nous reprochera peut-être de ne pas suivre l'ordre chronologique, car nous rejetons à la fin l'action des rayons X sur la peau qui a été la première constatée.

Nous croyons faire œuvre plus scientifique en nous élevant de degré en degré à travers la nature vivante pour aboutir enfin à l'homme.

*1^o Action des rayons de Röntgen sur les
microorganismes*

Tous les auteurs qui ont expérimenté l'action des rayons X sur les microorganismes, leur vie et leur développement sont loin d'être d'accord. Cela s'explique facilement quand on se souvient de la loi de Kienböck. Les rayons mous, c'est-à-dire produits par un tube mou, sont les seuls absorbés et par suite les seuls actifs. Or, la plupart des expériences ont été faites sans que l'on se préoccupât de l'état du tube. Ajoutons qu'il était presque toujours plutôt très dur car le réglage des premières ampoules était quasi impossible.

ATKINSON exposa des bacilles chromogènes aux rayons de Röntgen pendant de longues heures. Il ne constata aucune modification dans leur vitalité.

MINCK (521), pendant un temps variant de deux à huit heures, irradiia des cultures de bacille d'Eberth sous l'ampoule de Crookes, mais sans résultat.

WITTLING (559) ne fut pas plus heureux avec le staphylocoque.

Le professeur SORMANI, de Pavie, expérimenta sur seize espèces différentes de bactéries. Les expériences portèrent sur des cultures et sur des bactéries inoculées à des animaux vivants. Les cultures étaient placées très près du tube (1 à 5 cent.) et étaient illuminées pendant deux à quatre heures consécutives. Il n'y eut aucune action et Sormani concluait que les rayons de Röntgen n'exercent aucune action sensible sur les

propriétés pathogènes des bactéries soumises aux expériences (549).

BERTON (485) pensant que l'exposition aux rayons X avait été trop courte, exposa des cultures en bouillon de bacille diphtérique pendant 16 h., 32 h. et 64 h. Après chaque durée d'exposition il fit des ensemencements dans du bouillon et des injections à des cobayes. Il n'obtint aucun résultat : les cultures exposées poussaient aussi bien que la culture témoin après ensemencement ; les animaux inoculés avec les cultures exposées moururent aussi vite que les autres qui avaient reçu des cultures témoins.

BECK et SCHULTZ (483), BEAUREGARD et GUICHARD, BRUNTON BLAIKIE (486), GRUMNACH (505), SABRAZÈS et RIVIÈRE (540), BLAISE et SAMBUG (487), POTT, WOLF (560) arrivèrent à des conclusions expérimentales analogues. Mais doit-on les considérer comme valables ? Vu l'absence de mesures précises, je ne le crois pas. Comment maintenir au même degré de mollesse un tube pendant des expériences durant 32, 64 h. ? Comment alors s'appuyer avec assurance sur les conclusions ?

D'autres auteurs, du reste, publiaient des résultats différant en tous points des précédents, LORTET et GÉNOUD (518) arrivèrent les premiers à des résultats positifs sur la tuberculose expérimentale. FIORENTINI et LURASCHI confirmèrent leurs expériences.

MÜHSAM (523) concluait à la suite d'expériences, faites à Berlin sous le contrôle du professeur SONNENBURG, que « les rayons X n'empêchent pas le développement de la tuberculose générale inoculée au cobaye mais affaiblissent jusqu'à un certain point la tuberculose locale. »

BONOMO et GROS (488) diminuèrent la virulence de quelques microorganismes en prolongeant l'action des rayons de Röntgen; FRANTZIUS (498), RIEDER (536), HOLZKNECHT et SPIELER purent même arrêter leur développement et stériliser les cultures.

Mais les expériences les plus favorables aux rayons X furent certainement celles de RIEDER (535). Il se servait d'une bobine donnant 30 centimètres d'étincelle avec 300 interruptions par minute dans le courant primaire. Les cultures faites sur agar-agar et placées dans des boîtes de Petri furent exposées à 10 centimètres de l'anticathode pendant un temps qui varia de 45 minutes à trois heures. Pour juger plus facilement de l'action des rayons X, chaque boîte avait été recouverte d'une plaque d'étain percée en son centre d'une ouverture (méthode de Büchner).

Après 45 minutes d'exposition du vibron cholérique, RIEDER constata que la partie centrale des cultures qui recevait seule l'action des radiations était retardée dans son développement si on la portait à l'étuve.

Trois heures d'exposition tuaient complètement le vibron.

Ces recherches faites également sur le bacille de Koch, d'Eberth, de Löffler, le streptocoque, le staphylocoque, le colibacille montraient nettement que les rayons X avaient une action propre. RIEDER avait eu du reste la précaution d'éliminer l'action du champ électrique en interposant entre le tube et les cultures un écran d'aluminium relié au sol.

On peut objecter que ces résultats obtenus *in vitro*

n'ont, *in vivo*, aucune importance. Une exposition de trois heures devant un tube de Crookes ne détruirait-elle pas profondément les tissus en même temps que les microbes ? Que peuvent alors les doses thérapeutiques de radiations ?

D'autres expériences de RIEDER viennent l'indiquer. Il inocula des souris, des chiens, des cobayes avec des cultures virulentes de bacilles du charbon, de streptocoques et de staphylocoques. Il exposa ensuite les points inoculés aux rayons de Röntgen. Les résultats furent absolument *négatifs*, ce qui n'a rien de bien étonnant quand l'on songe avec quelle rapidité les microorganismes sont entraînés par le torrent circulatoire. Dans le cas de tuberculose expérimentale localisée, on vit les animaux soumis aux rayons X mourir moins vite que les animaux témoins, mais ce fut tout.

En 1900, WOLFENDEN et FORBES ROSS (561), après de nombreuses et minutieuses recherches, qui portèrent sur des bacilles et des cocci longtemps exposés à une ampoule de Crookes, arrivèrent à des résultats nouveaux et inattendus. Les rayons X, loin de tuer les microorganismes, exerceraient sur eux une action stimulante qui serait la cause de leurs changements de longueur, d'épaisseur. Ils modifieraient aussi leur mode de groupement et la formation des spores. La stérilisation des cultures que l'on avait constatée ne serait donc plus la conséquence d'une action bactéricide spéciale, mais d'un épuisement rapide des propriétés nutritives du milieu dû à une trop grande concurrence vitale.

SCHOLTZ, en 1902, reprit les expériences de ses pré-

décesseurs et arriva à cette conclusion que l'action des rayons X était nulle ou à peu près sur les microbes dans les conditions où doivent être faites les applications thérapeutiques.

Il n'obtint aucun arrêt ni aucun retard dans le développement des cultures du vibrion cholérique, du bacille pyocyanique, de bacille d'Eberth, de trichophyton, après les avoir exposées une heure aux radiations d'une ampoule molle placée à 10 centimètres. Le courant employé était de quatre ampères : il était interrompu dix fois par seconde.

Les microorganismes exposés furent pris dans des conditions bien différentes : au moment où ils venaient d'être ensemencés, dans des cultures très jeunes, dans des cultures âgées et cependant on n'observa jamais la moindre modification.

Il est difficile de conclure en présence d'avis aussi contradictoires émis par des hommes également consciencieux dans leur expériences. Nous pouvons cependant avancer, sans être trop téméraire, que les rayons X n'agissent probablement pas sur les microbes siégeant dans les tissus vivants, attendu que l'on doit avant tout éviter la destruction des téguments. Que des expositions prolongées arrivent à influencer les cultures, cela est probablement possible, mais on ne peut tirer alors aucune déduction pratique applicable à la thérapeutique.

2° Action des rayons de Röntgen sur les végétaux

Deux botanistes, ATKINSON et SCHOBERT, se demandèrent, peu après la découverte de Röntgen, comment

se comporteraient les plantes soumises aux radiations nouvelles.

ATKINSON exposa des plants d'avoine, de millet, de tournesol devant une ampoule de Crookes pendant une dizaine d'heures sans noter la moindre influence. Dans une autre série d'expériences, il remplaça la lumière du jour par les rayons X et vit la plante dépérir tout comme les plantes témoins privées de l'action vivifiante de la lumière du jour.

Des plantes malades furent soumises aux rayons de Röntgen ; elles ne s'en portèrent après ni mieux ni plus mal.

Non seulement les plantes déjà perfectionnées en organisation, mais même les végétaux inférieurs, les moisissures et les champignons montrèrent vis-à-vis de cette lumière artificielle la plus complète indifférence.

SCHOBERT (442) prit les plantes qui offraient à la lumière du jour les phénomènes héliotropiques les plus marqués, des sensitives, des algues (oscillaires) et ne constata aucun déplacement dans un sens ou dans un autre devant un tube de Crookes en activité.

Plus récemment (1898) MALDINEY et THOUVENIN ont communiqué à l'Académie des Sciences des résultats positifs obtenus sur des graines de liseron, de cresson, de millet. Les rayons X hâtaient leur germination d'une façon certaine (519).

Enfin, WOLFENDEN et FORBES ROSS complétèrent leurs travaux sur les microorganismes par des expériences portant également sur des graines de divers végétaux. Comme Maldiney et Thouvenin, ils constatèrent un

accroissement des propriétés germinatives et l'attribuèrent au coup de fouet que les rayons X viennent donner au développement et à l'action des zymazes (561).

3° Action sur les animaux homoplastidaires

SCHAUDINN (543) eut l'idée d'exposer des protozoaires à la lumière Röntgen. Il constata qu'ils se comportaient d'une façon assez différente, variable avec la structure de leur bioprotéon. Quelques espèces ne sont presque pas influencées, d'autres le sont très fortement et perdent, après deux à dix heures, la faculté de locomotion. Ces dernières tombent peu à peu au fond du vase et périssent. L'auteur croit avoir remarqué que les protozoaires dont le bioprotéon est fin et plus liquide, présentent une moindre résistance à l'action des rayons X et réagissent plus vite que ceux dont le bioprotéon est plus compact.

4° Action sur les animaux polyhétéroplastidaires

Cette action a fait le sujet de travaux déjà nombreux.

Nous citerons les plus importants.

Action générale. — SABRAZÈS et RIVIÈRE trouvèrent que l'énergie cardiaque de la grenouille ne subissait aucune variation sous l'influence des rayons X, même après une application d'une heure.

TORKHANOFF vit une diminution des divers réflexes chez les animaux exposés pendant quelque temps aux rayons.

STEFANO CAPRANICA chercha à se rendre compte de ce que devenait l'élimination de CO_2 chez des rats et des cobayes. Il ne trouva aucune modification.

Plusieurs auteurs ont noté, chez de petits animaux, des troubles fonctionnels de diverse nature après exposition aux rayons X : des paralysies, des paraplégies, des avortements, même des morts.

KIENBÖCK (511) plaça des souris blanches sous un tube de Crookes. Il les vit, dès le deuxième jour, perdre de leur vivacité, manger avec moins d'appétit, présenter un peu de parésie des quatre membres et enfin mourir le quatrième jour après quelques convulsions. Notons que cet effet fut obtenu avant l'apparition de toute trace d'alopécie.

SCHOLTZ, sur quatre souris exposées pendant une demi-heure à 20 centimètres d'une ampoule, en vit périr deux, soit la moitié, trois jours après. L'autopsie ne révéla aucune lésion appréciable.

L'observation de OUDIN, BARTHÉLEMY et DARIER (532) montre nettement l'influence des rayons X sur le *système nerveux*. Ils prirent un cobaye qu'ils exposèrent pendant une heure. Dix jours durant, il se maintint en bonne santé, puis survint un affaiblissement de plus en plus marqué des membres postérieurs qui fit place à une paraplégie complète. La radiodermite ne se manifesta que 8 jours après l'apparition des premiers phénomènes nerveux. Deux ans après, la paraplégie durait encore.

M^{lle} OGUS relate, dans sa thèse, de semblables accidents de paraplégie survenus chez des cobayes. Parfois la paraplégie fut totale, d'autres fois incomplète (526).

GUIDO SALA a publié il n'y a pas longtemps des faits analogues.

Enfin, tout récemment (décembre 1903), M. le professeur LÉPINE, de Lyon, a repris ces expériences en collaboration avec M. BOULUD (516). Il cite le cas d'un cobaye « très vigoureux et abondamment nourri de betterave et de son. Cet animal, en parfait état de santé, au laboratoire *depuis plusieurs mois*, et soumis toujours à la même nourriture, pesait 705 grammes le jour où on a commencé à l'exposer quotidiennement aux rayons X deux fois par jour, chaque fois pendant trois quarts d'heure. » L'ampoule productrice de rayons était dure ; l'étincelle équivalente était de 18 centimètres et le degré radiochromométrique, que nous avons mesuré sur la demande de M. Lépine, était égal à 7. Le cobaye était placé derrière une feuille d'aluminium, en communication avec le sol. « L'effet de chaque séance se manifestait surtout par une élévation de température. Le troisième jour, on a fait trois séances, et, à partir de ce moment, il a paru un peu malade : l'urine, très peu abondante, renfermait une forte proportion d'urée.

Cependant l'animal continuait à bien manger et ne perdait pas de poids. Le cinquième jour, il a cessé de s'alimenter, et s'est refroidi ; puis il a pris des convulsions chaque fois qu'on le touchait. Après quelques heures de cet état, la mort paraissant imminente, on

l'a sacrifié, pour doser dans de bonnes conditions le glycogène de son foie. »

Quatre chiens exposés directement à l'action d'une ampoule pendant une heure, et sans interposition d'une feuille d'aluminium, ont eu « de l'oppression, de l'accélération des battements du cœur, une légère élévation de température, et, le plus souvent, ont refusé de manger après la séance. L'un d'eux a eu des hématuries ».

L'existence de troubles nerveux graves, parfois même mortels si l'exposition a été trop prolongée, semble donc indéniable. On a cherché à les expliquer par ce fait que la moelle épinière des animaux est mal défendue contre les radiations par l'enveloppe osseuse vertébrale naturellement peu épaisse. Il se produirait alors de la méningo-myélite comme l'ont bien vu MM. RODET et BERTIN-SANS dans leurs études sur des moelles de cobayes exposés pendant longtemps aux rayons X. Ils ont constaté « de l'épaississement, des adhérences des méninges, de la congestion médullaire, de l'hyperplasie cellulaire et même de petits foyers hémorragiques (537) ».

La *grossesse* de petits animaux peut être sérieusement influencée ainsi que le prouve le fait suivant rapporté par OUDIN (530). Une cobaye pleine fut irradiée durant une heure par un puissant tube de Crookes placé à quelques centimètres de l'animal. Vingt-deux jours après, elle mit bas trois petits qui moururent quelques heures plus tard. A ce moment, ni radiodermite, ni alopecie n'étaient apparues du côté de la peau chez la mère.

Tout récemment, ALBERS-SCHÖNBERG a publié (474 et 475) sur l'action des rayons X des faits de la plus haute importance. Il a vu l'*azoospermie complète* succéder chez des cobayes et des lapins à une exposition assez prolongée. L'état général ne présente pas de modifications apparentes, les fonctions sexuelles paraissent s'exercer normalement. La stérilité paraît devoir être due à une nécrospermie.

Voici quelques détails sur ces curieuses recherches. Les animaux, cobayes et lapins, furent placés dans une caisse dont le fond avait été remplacé par une toile à voile. Ils furent exposés à 17 centimètres de l'anticathode d'un tube demi-mou qui projetait vers le haut les rayons. La bobine productrice d'énergie pouvait donner 60 centimètres d'étincelle.

Onze mâles (5 lapins et 6 cobayes) après avoir été ainsi röntgenisés furent laissés avec 16 femelles non exposées aux rayons X. Les couples restèrent ensemble :

4 fois.....	10 jours
1 fois.....	14 jours
3 fois.....	2 mois à 2 mois et demi
6 fois.....	5 mois

Jamais il n'y eut de produit, Cependant les femelles étaient fécondes puisqu'elles avaient déjà été couvertes par des mâles non röntgenisés et avaient mis bas.

On fit l'autopsie de huit mâles sur onze et on constata que chez ceux qui avaient été exposés pendant une durée totale de 195 minutes, l'azoospermie n'était pas absolue, tandis qu'au-delà de 377 minutes elle était complète.

Des manifestations cutanées accessoires (chute des poils, desquamalion, érythème) ne se produisirent que dans un petit nombre de cas.

Action locale. — Indépendamment de cette action générale et des troubles fonctionnels qui en résultent, les rayons X ont une action locale particulièrement remarquable sur la partie des téguments la plus voisine de l'ampoule.

Les expériences faites sur les animaux ont porté sur les *animaux à sang froid* et les *animaux à sang chaud*. On a pu exposer des poissons, des grenouilles, des salamandres aux rayons de Röntgen, même pendant longtemps, sans noter de troubles chez eux. Les écailles des poissons ne sont point tombées et la seule réaction de la grenouille à une irradiation qui eût tué des souris a été une coloration plus sombre des téguments.

Le hérisson et la tortue se sont comportés comme les poissons ou la salamandre.

Parmi les animaux à *sang chaud*, on a cherché à se rendre compte de l'effet sur les oiseaux et les mammifères.

KIENBÖCK (512) prit un pigeon, il l'exposa à l'action d'une ampoule demi-molle à une distance de 10 centimètres, une demi-heure chaque jour, pendant six jours. Au bout de deux semaines, les plumes commencèrent à tomber sur le dos, sur le cou, sur la tête qui recevaient directement les rayons X; bientôt la face ventrale, elle aussi, manifesta cette réaction. Les plumes repoussèrent, mais lentement, et six mois plus tard, on voyait encore par endroits des espaces dénudés. Le

dos de l'animal présenta assez longtemps un notable érythème.

Le même auteur, continuant ses expériences, s'adressa aux petits mammifères (souris blanches, cobayes, lapins).

Les *souris blanches* succombèrent trois ou quatre jours après avoir été röntgenisées. La mort fut trop prompte pour permettre aux réactions cutanées de se manifester.

Des *cobayes* présentèrent les phénomènes suivants : chute de poils à la région exposée après deux semaines, alopecie s'étendant par la périphérie, puis dermatite suintante au centre, se terminant par un ulcère.

Un *jeune lapin* fut exposé à 10 centimètres d'une ampoule très dure pendant vingt-deux jours à raison de quinze minutes par jour. KIENBÖCK ne constata aucun effet. Il changea alors d'ampoule et en prit une de Müller, demi-molle, à régulateur électrique. Treize applications nouvelles furent faites à la suite desquelles il vit se produire une chute des poils suivie d'un suintement de la peau. Puis les surfaces chauves se pigmentèrent. Ce n'est que quatre semaines après que les poils commencèrent à repousser et la peau du dos ne reprit son aspect qu'après plusieurs mois.

SCHOLTZ expérimenta sur des lapins et obtint de l'alopecie, de l'érythème, même de la nécrose superficielle. Sur des cochons, dont la peau présente une très grande ressemblance avec la peau humaine il obtint des réactions très accentuées (545).

Il prit deux cochons ; il fixa leurs oreilles sur leur cou et les éclaira cinq fois à vingt-quatre heures d'inter-

valle pendant quinze minutes à chaque séance. L'ampoule était à dix centimètres des téguments et la peau avoisinante était protégée contre les rayons par des lames de plomb.

Dix jours après la dernière exposition les poils du côté externe des oreilles tombèrent puis, chose curieuse, ceux du côté interne et de la région correspondante du cou. Quelques jours plus tard la peau du côté externe des oreilles fut soulevée par une éruption bulleuse, devint humide et se nécrosa. La peau, du côté interne des oreilles et de la région sous-jacente du cou présenta des phénomènes identiques, mais plus tardifs et moins intenses. La guérison fut lente, mais les oreilles reprirent leur configuration normale.

Les rayons X agissent donc chez tous les animaux à sang chaud de la même manière, sur les oiseaux comme sur les petits mammifères. Leur action élective semble se porter sur la peau et sur les productions cornées qui s'y trouvent. Parfois même, ainsi que le fait a été prouvé par SCHOLZ puis confirmé par KUMMEL et RÉVILLET (513), la réaction cutanée se produit à l'entrée et à la sortie des rayons.

On note toujours un important *stade de latence*, d'environ deux semaines, puis des troubles trophiques qui se succèdent dans l'ordre suivant. Pour un éclairage modéré, *alopécie*, suivie d'une repousse de poils nouveaux qui tombent à leur tour et sont remplacés après une longue période par des poils plus clairs et plus fragiles.

Pour un éclairage plus intense, l'alopécie est suivie de *dermatite superficielle* avec formation d'une érup-

tion vésiculeuse avec exsudat. Puis la peau desquame et s'atrophie. On voit apparaître généralement de l'hyperpigmentation des téguments qui ne s'éteint que très lentement et qui peut subsister sept ou huit mois après l'exposition.

Si l'éclairage a été très intense, on constate une *ulcération* superficielle qui a peu de tendance à la guérison. Les tissus dénudés et ulcérés se mortifient ultérieurement et forment une *escharre* laquelle à son tour, mais longtemps après, découvre en s'éliminant une *ulcération* bien plus *profonde* que la première.

Une cicatrice rétractile et indélébile termine ces lésions. L'ensemble du processus inflammatoire a reçu le nom de *radiodermite* pour rappeler que les rayons X sont la cause de ces troubles trophiques.

Action sur les animaux rendus artificiellement malades. — C'est au fond une étude de l'action des rayons X sur les microbes que nous allons résumer ici, étude d'une haute portée thérapeutique puisqu'elle est faite *in vivo*.

Les premières recherches sont dues à LORTET et GENOUD de Lyon (518). Ils injectaient des cultures de bacilles de Koch à deux lots de cobayes, puis irradièrent les uns, tandis que les autres servaient de témoins. L'infection générale fut retardée chez les animaux soumis aux rayons X; ils ne présentèrent ni les abcès, ni les volumineux ganglions inguinaux des cobayes témoins, mais ils succombèrent néanmoins.

FLORENTINI et LURASCHI, MUHSAM (522) confirmèrent ces expériences. Les premiers crurent cependant constater une légère atténuation de la maladie par les

rayons ; le dernier déniait toute action favorable sur la tuberculose généralisée en admettant néanmoins de bons effets sur la tuberculose localisée.

BERGONIE et TESSIER, en 1898, présentèrent au Congrès de la tuberculose un mémoire que vinrent appuyer RODET et BERTIN-SANS. Les conclusions de ces quatre auteurs furent identiques : les rayons X sont sans action sur la tuberculose expérimentale ; ils l'aggravent même en semblant priver l'animal d'une partie de ses moyens de défense.

M^{lle} OGUS (526), dans sa thèse inaugurale, mit la question au point et conclut nettement à une action défavorable des rayons sur l'état général et la résistivité des animaux en expérience. Elle indiquait cependant que les ganglions malades avaient paru diminués par l'action des radiations.

L'idée qui se dégage de ces divers travaux, c'est que les radiations de Röntgen, loin de favoriser la guérison de la tuberculose, laissent l'organisme souvent moins bien disposé à lui résister. Elles enrayent il est vrai l'adénopathie, mais est-ce vraiment une circonstance favorable et ne faut-il pas voir là la suppression d'un processus défensif ? Nous serions fort portés à le croire.

Cependant l'action élective sur le système ganglionnaire lymphatique, action que l'on constate dans les radiodermites (elles ne s'accompagnent jamais d'engorgement des ganglions) devrait encourager les médecins radiographes à essayer l'action de cet agent nouveau dans le lymphadénome. Ils en retireraient peut-être un grand avantage.

5° *Action sur l'homme*

Nous diviserons notre étude comme la précédente en deux parties : action *générale* et action *locale*, la seconde beaucoup plus importante et beaucoup mieux étudiée que la première, du moins jusqu'ici.

Action générale. — Les médecins qui ont eu à faire des examens radioscopiques ont noté quelquefois après une ou plusieurs séances de rayons X des troubles généraux produits par une perturbation dans le système nerveux.

Ajoutons tout de suite que l'impressionnabilité des sujets n'y était pas étrangère comme le fait remarquer le docteur OUDIN (132 bis, p. 1033). Quoi d'étonnant chez des malades « qui ont attendu leur examen avec impatience ou anxiété, et qui sont vivement impressionnés par l'outillage, l'obscurité, les étincelles et la nouveauté de la méthode. »

Il est cependant certains de ces phénomènes qui se présentent avec des caractères assez constants pour qu'on puisse incriminer les rayons X.

Vomissements. — On les voit apparaître après une irradiation un peu longue de la région abdominale. Comme ils se produisent assez longtemps après l'exposition aux rayons, qu'ils durent parfois pendant vingt-quatre heures, on ne peut les expliquer par l'émotivité du sujet. OUDIN et BARTHÉLEMY (529, 530) en ont observé cinq cas ; dans deux autres cas ils ont noté simplement

un dégoût profond pour tout aliment, une langue épaisse, saburrale mais pas de vomissements. WALSH cite des cas analogues (556).

Palpitations — Cardialgie. — LEGUY (547) et QUÉNISSET (534), ont les premiers signalé ces symptômes. Ils ne se produisent guère que chez les opérateurs qui vivent à côté d'ampoules sans cesse en fonctionnement ou chez les malades soumis pendant trop longtemps aux irradiations, comme dans le cas rapporté par QUÉNISSET. On constate une oppression cardiaque très forte, des battements violents et irréguliers qui obligent à suspendre l'action des rayons X. L'interposition d'une plaque d'aluminium entre le sujet et le tube semble atténuer ou supprimer ces symptômes. M. LÉPINE (516), a montré en effet que des chiens exposés à l'action d'une ampoule sans interposition d'une feuille d'aluminium ont eu, ainsi que nous l'avons signalé plus haut, de l'oppression, de la tachycardie et de l'inappétence, tandis que deux autres, placés derrière une lame d'aluminium reliée au sol, n'ont pas eu d'oppression pendant la séance et ont bien mangé après. L'aluminium joue un rôle protecteur probablement parce qu'il transforme une partie des rayons X en rayons secondaires moins actifs. En tous cas, l'intéressante expérience de M. LÉPINE prouve qu'il ne faut pas parler d'autosuggestion ou d'imprssionnabilité trop grande du sujet pour expliquer des troubles que l'on retrouve identiques chez les animaux.

Tremblements. — Ils se voient quelquefois chez les

médecins radiographes. Tantôt ils accompagnent la radiodermite chronique des opérateurs, tantôt ils existent seuls sans lésion de la peau. Ces tremblements ressemblent à ceux de l'alcoolisme : ils sont faibles et existent même au repos, mais, comme dans la sclérose en plaques, on les voit s'exagérer lors de mouvements intentionnels. En supprimant l'action des rayons de Röntgen ils disparaissent peu à peu. FREUND (499) nie l'existence de ces tremblements et ne les a jamais constatés. OUDIN les décrit au contraire très nettement (529).

Troubles de sensibilité. — On les a notés assez souvent comme corollaire des radiodermes chroniques ou aiguës. OUDIN croyait sentir entre ses doigts un tissu analogue à celui d'un gant; RADIGUET avait acquis une hyperesthésie douloureuse des deux mains : il éprouvait, même à grande distance d'une ampoule en activité, une sensation de frémissement fort pénible. Des sujets atteints de radiodermes présentent souvent, le long des nerfs, des élancements névralgiformes revêtant parfois un caractère fulgurant.

Blépharites, conjonctivites. — Ces accidents devraient plutôt être rattachés aux radiodermes dont ils ne sont qu'une forme très atténuée. Ils sont survenus toujours chez les médecins qui examinent beaucoup de malades à l'écran fluoroscopique. On note souvent, et nous l'avons observé maintes fois sur nous-même, que l'on éprouve une sensation désagréable de cuisson dans les yeux lorsqu'on regarde dans la direction d'une

ampoule même à travers l'écran fluoroscopique. Il se produit à la suite un larmolement qui atténue le phénomène. Mais avec la répétition des expositions aux rayons X, on voit survenir de la conjonctivite, du larmolement presque continu, de la rougeur du rebord palpébral et la chute des cils. On n'a heureusement jamais signalé de troubles sérieux du côté de l'œil lui même, mais il est probable que les éléments nerveux de la rétine doivent être défavorablement influencés par les radiations. D'ici quelques années, il n'y aurait rien d'étonnant qu'on entendit parler de cécité prématurée chez les observateurs.

Grossesse. — Il serait intéressant d'étudier la question de savoir si les rayons ont ou non une action sur la grossesse. Chez les animaux, nous avons signalé l'observation d'oudin, il semble que les produits de la conception aient été atteints dans leur énergie vitale : ils moururent le jour même de leur naissance.

Chez la femme, on ne possède qu'une observation, celle de oudin et de Barthélemy. Il serait téméraire de se faire une opinion d'après ce seul cas.

Une femme, enceinte de deux mois, fut exposée aux rayons X dans un but thérapeutique, pour d'anciennes affections périutérines. Une ulcération se produisit en face de l'ampoule quinze jours après ; une escharre lui succéda qui grandit et se creusa encore pendant le septième mois. Au huitième mois cette femme accoucha normalement de deux jumeaux, l'un pesant 2050 grammes, mort pendant le travail, et l'autre 1920 grammes qui succomba quelques jours après.

Action locale. — L'action *locale* des rayons X est celle qui a tout d'abord été observée, surtout au début, alors qu'on utilisait de préférence la radiographie comme moyen d'exploration et qu'on prolongeait les séances pour traverser plus aisément des régions épaisses telles que le thorax ou le bassin. L'inflammation toute spéciale de la peau reçut le nom de *radiodermite*, car un terme nouveau était nécessaire pour désigner ces lésions nouvelles.

Nous les avons vues éclater chez les animaux, nous allons les suivre chez l'homme dont la peau semble plus sensible et nécessite une irradiation moins intense pour provoquer une réaction égale.

Remarquons d'abord que les termes de radiodermite aiguë et de radiodermite chronique, que l'on a appliquée à deux formes de cette affection, ne sont point exacts, comme l'a fait remarquer OUDIN, si l'on veut désigner par là, comme on le fait en clinique, la marche de l'affection et sa durée. Une radiodermite aiguë peut être beaucoup plus longue qu'une radiodermite chronique. On pourrait éviter toute confusion en donnant le nom de *radiodermite* à la première et de *radiodermatite* à la seconde, la terminaison en *atite* rappelant la répétition des expositions aux rayons, nécessaire pour la déterminer.

La *radiodermite* (aiguë) éclate le plus souvent à la suite de une ou plusieurs expositions à des rayons très actifs. Elle s'accompagne de douleurs violentes.

La *radiodermatite* (radiodermite chronique) se montre le plus souvent chez les médecins radiographes, constructeurs, physiciens, dont les mains sont

exposées plusieurs fois par jour à des rayons peu actifs à cause de la grande distance du tube, de l'obliquité de l'incidence et de la brièveté des irradiations.

Les différences cliniques sont très notables entre les deux formes de l'affection et justifient la division que nous avons ébauchée et que nous allons suivre :

A. Radiodermite (aiguë). — Une des premières observations de radiodermite fut faite par l'ingénieur O. LEPPING (517). Il s'exprimait ainsi : « On ne sait généralement pas encore que les rayons X ont la propriété de produire une brûlure de la peau comme les rayons du soleil ». Il citait son cas personnel. Sa main gauche avait présenté d'abord une coloration foncée, puis de l'enflure enfin de petites vésicules qui mirent plus de cinq semaines à se cicatriser malgré un traitement actif. La partie de l'annulaire protégée par la bague était restée indemne,

La même année (1896) et peu de temps après, W. MARKUSE (520) publiait un mémoire sur la « dermatite et l'alopecie provoquée par les rayons de Röntgen ». Il notait la destruction de l'épiderme et la formation d'une plaie avec exsudat séreux-purulent.

SEHRWALD annonçait qu'il avait observé des faits analogues sur un écolier de 13 ans (548).

L'année suivante (1897) des communications furent faites sur des accidents plus graves. LASSAR cite le cas d'une dame qui eut une radiodermite gangréneuse de la peau du ventre à la suite d'une pose radiographique trop prolongée. CROOKES en Angleterre (493) et APOSTOLI en France (476) notaient de leur côté des

lésions profondes et très longues à guérir. La place me manquerait si je voulais citer les observations de BALTHAZARD, OUDIN, DARIER, FORSTER, BARTHÉLEMY, SOREL, LANNELONGUE (478), BAR et BOULLÉ, PATRICK, CANIDY (491), etc.

Naissance, évolution et terminaison de la radiodermite. — Suivant que les tissus ont été plus ou moins lésés par les rayons, la radiodermite affecte divers degrés qui sont les *étapes* d'un même processus. En les étudiant dans l'ordre de leur apparition, nous aurons toute la gamme des altérations de la peau et des couches sous-jacentes sous l'influence des radiations de Röntgen. Mais il est bon de faire remarquer que *chaque degré peut être un terme* que la lésion peut ne pas dépasser. Tout dépend de la qualité et de la quantité des rayons reçus par le sujet.

Premier degré. — Un stade de *latence* qui dure de 1 à 3 semaines précède généralement l'apparition de tout phénomène et c'est ce qui rend particulièrement dangereux tout traitement radiothérapique lorsqu'il n'est pas dirigé par un médecin expérimenté. Puis survient un érythème léger en petites plaques qui se fusionnent bientôt. Les poils de la région exposée sont intacts et on ne note pas d'hyperesthésie.

Deuxième degré. — L'érythème prend la teinte rouge vif ou rouge vineux et va s'accroissant. Des démangeaisons apparaissent et deviennent insupportables, surtout la nuit. De petites élevures, acuminées, papuleuses apparaissent sur la surface rouge. La lésion peut s'ar-

réterlà; on voit les élevures s'affaïsser ou se recouvrir d'une légère croûte, la surface desquame en lambeaux puis tout rentre dans l'ordre. Mais souvent les papules augmentent, se remplissent d'une sérosité louche, se réunissent. On a alors des phlyctènes de plus en plus grosses qui se déchirent et découvrent une surface ulcérée. Des sensations de brûlures fort désagréables font place au besoin de grattage. Le contact des vêtements, d'un morceau d'étoffe est presque intolérable. Là encore l'arrêt est possible, et après une quinzaine de jours de ces symptômes la *restitutio ad integrum* se dessine et s'accroît. Presque toujours cependant une *pigmentation* d'autant plus accentuée que le sujet l'est davantage lui-même apparaît autour du point exposé aux radiations; elle s'étend même fort loin et on l'a vue recouvrir toute la face antérieure du thorax. L'épiderme reste longtemps pigmenté, parfois 7 ou 8 mois et plus. Une *alopécie* plus ou moins rapide accompagne aussi cette deuxième période, mais elle n'est pas durable et la repousse se fait deux mois environ après la chute.

Troisième degré. — C'est le commencement des accidents graves de la dermite röntgenique. Après la déchirure des phlyctènes et la formation d'une ulcération superficielle, on croit que tout va guérir. La plaie est devenue indolore; elle suppure à peine, commence parfois à se cicatriser, puis elle se modifie, la réparation des tissus s'arrête; on voit des points brunâtres, jaunâtres piqueter le fond de l'ulcération; les douleurs reviennent. Elles sont intenses et semblables à des morsures aiguës. Le quatrième stade va commencer.

Quatrième degré. — Les douleurs s'irradient tout autour de la lésion, elles peuvent être assez violentes pour empêcher le sommeil. Leur réapparition coïncide avec les taches polychromes dans la plaie. Ces taches se réunissent comme s'étaient fusionnés les points d'érythème et les zones de pigmentation ; elles deviennent de plus en plus épaisses et finissent par former une eschare qui adhère aux parties profondes et a peu de tendance à l'élimination. Cette eschare, qui est dure, sèche, n'est pas sensible à la pression ni au choc ; elle se sépare bien vite, à son pourtour, de la peau et laisse voir un sillon périphérique de 1 à 2 millimètres de largeur d'où sort une sérosité épaisse et jaunâtre, mais à peine purulente. L'eschare, malgré son épaisseur (parfois 1 centimètre et plus) ne dépasse pas le niveau des tissus voisins, souvent même elle est plus enfoncée qu'eux. Pendant des mois la lésion conserve le même aspect, enfin l'eschare tombe d'un bloc ou plus souvent par fragments.

Cinquième degré. — On voit alors une ulcération profonde avec bords taillés à pic et d'une couleur rouge foncé. Le fond est rempli de volumineux bourgeons charnus, la cicatrisation a l'air de se dessiner dans de bonnes conditions. Hélas ! au bout de deux à quatre semaines, une nouvelle eschare se forme aux dépens d'une nouvelle éclosion de taches jaunes ou brunâtres dans le fond de la plaie. Cette eschare évolue comme la première, mais la surpasse encore en épaisseur. Enfin elle tombe et la cicatrisation commence avec une désespérante lenteur.

La *cicatrice* a un aspect spécial. Tout d'abord, elle a des bords découpés en forme de carte géographique, et une coloration blanche qui tranche nettement sur les tissus hyperpigmentés du voisinage. Puis, plusieurs mois après, elle se rétracte et finit par ressembler à la cicatrice de toute brûlure grave et profonde.

On voit combien est grave et longue à guérir la lésion type de la radiodermite dont nous avons suivi les étapes suivant le tableau qu'en a donné OUDIN. Mais les lésions peuvent affecter une marche anormale. Les premières manifestations peuvent rester latentes pendant très longtemps. OUDIN et BARTHÉLEMY ont rapporté un cas d'ulcération survenue chez une femme, cinq mois après la cessation d'un traitement radiothérapique, pour des douleurs névralgiques dans la région mammaire. M. le professeur FOURNIER a vu une femme chez qui les troubles trophiques débutèrent dix mois après quelques séances de radiothérapie.

Enfin, on peut ajouter à ces *accidents tardifs* une vulnérabilité extrême et un état de *minimæ resistentiæ* des tissus au niveau d'une ancienne radiodermite. Le moindre traumatisme à ce niveau peut amener l'éclosion d'une ulcération caractéristique. On peut citer à ce sujet les deux observations de OUDIN communiquées en mars 1900 à la Société d'électrothérapie. KIENBÖCK a fait sur des lapins la même constatation (512).

Traitement de la radiodermite grave. — Je n'en dirai que quelques mots pour ne pas être incomplet sur ce sujet tout d'actualité.

On a proposé de nombreux traitements et tous ou à peu près ont échoué. Les poudres, les corps gras, ont été essayés sans résultat. L'iodoforme, l'acide picrique même n'ont aucune action. L'eau de Goulard a été préconisée contre l'érythème par SCHIFF et A. SCHÖNBERG.

A la troisième et à la quatrième période on se trouvera bien de protéger la plaie contre le contact de l'air et de faire, suivant le conseil d'ODIN, un pansement occlusif formé d'épais gâteaux de ouate recouverts de taffetas gommé que l'on dispose sur la lésion badigeonnée avec une solution de cocaïne puis, plus tard, saupoudrée d'orthoforme.

L'eau oxygénée en pulvérisations a donné d'assez bons résultats ainsi que l'effluve statique ou l'aigrette fournie par un appareil de haute fréquence (ODIN).

Enfin je signalerai, comme rentrant tout à fait dans le cadre de cet ouvrage, l'ingénieux traitement des radiodermites par la lumière rouge. Le docteur BAR avait une malade atteinte d'une vaste ulcération radiographique de l'abdomen. On fit faire une sorte de caisse en bois emboitant le ventre de la malade et on la ferma par un verre rouge distant de 5 centimètres de la peau. Sur la plaie elle-même on appliquait un verre blanc mince, puis on exposait la malade au grand jour, couchée sur son lit placé sous une galerie vitrée.

Sous l'influence de ce traitement, la réparation des tissus se fit rapidement et beaucoup plus vite en tous cas qu'on n'aurait pu l'espérer (478).

Cet essai encourageant devait être renouvelé. Il semble reposer du reste sur l'antagonisme depuis longtemps connu des radiations placées aux extrémités opposées du spectre. Or le rouge et l'infra-rouge sont aussi distants qu'il est possible du violet, de l'ultra-violet et des rayons X ; quoi d'étonnant alors si un groupe de radiations peut enrayer et guérir les lésions causées par des ondes de longueur différente ?

B) Radiodermatite (radiodermatite chronique). — Cette forme particulière et atténuée de l'inflammation de la peau causée par les rayons X se rencontre surtout chez les opérateurs, radiographes et physiciens. Elle atteint les mains de préférence, rarement la face.

Dès 1896, FUCHS l'observa sur sa main gauche qui devint douloureuse et particulièrement au niveau des articulations (502).

BEHREND remarqua chez un monsieur qui s'occupait beaucoup de radiographie que la peau et les ongles de la main gauche avaient pris l'aspect que l'on remarque dans la sclérodactylie (481).

BUCKA vit de même les ongles de sa main droite fortement altérés.

De nombreuses communications de BALZER, DANIEL, DARIER (495), DESTOT (496), HALLOPEAU (506), SCHURMAYER (546), etc., ont permis de tracer un tableau assez exact de la radiodermatite.

Symptômes et évolution. — Les premiers phénomènes se manifestent surtout aux mains, du côté de l'exten-

tension, qui est le plus exposé pendant les déplacements que l'on fait subir à l'ampoule ou à l'écran. La peau est rouge, violacée : « on a des mains de cuisinière ». L'érythème peut même simuler les engelures. Puis la peau s'épaissit, devient sèche, écailleuse ; le derme perd sa souplesse et la flexion des doigts est gênée. Souvent les poils tombent dès cette période.

Les rebords épidermiques unguéaux ne tardent pas à s'épaissir, à se fendiller, à saigner.

Mais ce n'est là qu'un prélude. L'épiderme lésé dans sa vitalité se gerce, se coupe de crevasses douloureuses. Les ongles se décollent en un point quelconque de leur surface, parfois près de la matrice, et tombent, ou bien ils s'effritent, se recouvrent de stries longitudinales, deviennent cassants.

Les tissus sont atteints jusque dans la profondeur : les phalanges s'épaississent par hypertrophie du périoste. M. HALLOPEAU a même montré un malade dont toutes les phalanges étaient ankylosées et dont la main avait l'aspect que présentent certaines formes d'arthropathies déformantes avec ankylose dans l'extension (506).

Si l'opération ne se soustrait pas à l'action des rayons, on voit les mains présenter le même aspect que si elles étaient atteintes d'eczéma aigu.

La *guérison* est *très lente* et est toujours subordonnée à la cessation complète de toute exposition aux rayons X. En effet, une fois que la peau est dans l'état maladif que nous avons décrit, il suffit de quelques nouvelles expositions, mêmes courtes et espacées, pour voir les lésions revenir à leur acmé. Il y a là une

susceptibilité acquise très remarquable, comparable à celle que l'on a signalée pour l'iodoforme et quelques autres substances chimiques (Cf. TUSSAU. De l'iodoformisme chirurgical. — *Semaine médicale*, 4 novembre 1896; et J. ALBERT. De l'iodoformisme cutané. Thèse de Lyon, 1899).

Traitement. — Il est plutôt préventif que curatif quoique on puisse essayer dans le cas de lésions existantes les remèdes dont nous avons parlé à propos de la radiodermite aiguë. La condition essentielle, *sine qua non*, de la guérison est de soustraire les parties atteintes à toute exposition aux radiations, source du mal.

Mais comme les médecins sont désormais obligés de s'exposer aux rayons de Röntgen, ils se trouveront bien de s'entourer de précautions. Il ne faut rien exagérer cependant et ne pas aller, comme certains l'ont fait, jusqu'à recevoir les clients dans le costume d'un chevalier du moyen-âge avec armure, casque et gantelets de métal. Les mains et les yeux seuls méritent d'être mis à l'abri.

Pour les *mains*, OUDIN s'est servi avec succès de gants recouverts d'une lame de plomb qu'il a abandonnés pour des gants d'escrime, beaucoup plus commodes, dont le crin est remplacé par du fil de laiton très fin.

BÉCLÈRE emploie des gants qui portent seulement sur la face dorsale un ongle de cuivre recouvrant toute la phalange et, tout récemment, des gants portant entre deux épaisseurs de cuir une couche de sous-nitrate de bismuth.

Pour les *yeux*, on a préconisé des lunettes, mais tous les verres ne sont pas également bons. Le cristal de roche est très transparent aux rayons X, le verre ordinaire l'est moins, mais laisse encore passer une grande partie des radiations. Le flint, au contraire, qui est à base de plomb, n'est pas perméable et par suite très protecteur.

Il sera du reste fort simple d'examiner à l'écran, les verres que l'on veut employer. On s'arrêtera à ceux qui sont opaques.

ALBERS SCHÖNBERG se défie davantage de l'action lente et sans cesse renouvelée des rayons X. Il a peut-être raison, car que sait-on encore au sujet de leurs effets physiologiques à longue échéance? L'azoospermie obtenue chez les cobayes mérite qu'on réfléchisse sérieusement à la question. Il proposerait donc de garantir l'opérateur des pieds à la tête par un grand écran métallique percé seulement, au niveau des yeux, de deux ouvertures fermées par des verres de flint.

Anatomie pathologique des radiodermites

KAPOSI (510) dit que les rayons X agissent surtout sur la circulation et provoquent une vaso-dilatation d'abord profonde puis superficielle. Cette action persiste pendant longtemps et peut expliquer l'aspect télangiectasique que l'on remarque autour de la radiodermite, souvent dès la période d'escharification.

DARIER (495) conclut au contraire à une action négligeable sur les vaisseaux. Le derme ne paraît pas

touché mais l'épiderme réagit énergiquement contre un irritant d'une intensité extraordinaire. Cet irritant cause l'atrophie des éléments différenciés en vue de la production des poils, des ongles, des glandes, mais exalte au contraire l'activité vitale des éléments cellulaires peu différenciés d'où l'épaississement de tout l'épiderme et l'augmentation de l'éléidine. Les ramifications nerveuses semblent intactes.

GASSMANN et SCHENKEL (503) constatent que les tissus nécrosés se présentent sous un aspect un peu différent de la nécrose ordinaire. Les fibres conjonctives ont un noyau bien colorable par les méthodes ordinaires, mais elles ne tardent pas à revêtir des formes de dégénérescence. Elles se contournent irrégulièrement, se groupent en désordre. Ça et là on rencontre des amas de leucocytes mononucléaires ou de petits éléments provenant du sang extravasé ainsi que des fibres élastiques abondantes. Quant au tissu adipeux il demeure sans changement.

UNNA eut l'occasion d'examiner la peau humaine au stade de l'érythème radiographique. Il constata des altérations portant surtout sur le tissu conjonctif. Il expliquait alors par ces lésions des éléments les plus résistants de la peau et qui lui donnent sa consistance, la longue durée des radiodermes.

GASSMANN (504) étudiant une ulcération causée par les rayons X, trouva une forte altération des vaisseaux du derme et du tissu cellulaire sous-cutané. La tunique interne des vaisseaux avait subi la dégénérescence vacuolaire de même que la tunique musculaire. Cette constatation lui permettait d'expliquer la longueur et

la difficulté avec lesquels l'ulcère se répare et l'ensemble des troubles trophiques observés du côté de la peau.

EHRMANN (497) et KIENBÖCK (512) trouvèrent également des lésions des capillaires dans l'étude qu'ils firent de la radiodermite chez le cobaye. Ils attribuaient la coloration foncée des téguments, que l'on ne tarde pas à remarquer, aux mélanoblastes excités par les rayons de Röntgen, et la couleur hyperémique de la peau irradiée à l'hémosidérine. Cette substance, dérivée de l'hémoglobine, se précipiterait peu à peu dans les espaces intercellulaires où se trouvent les globules rouges qui ont traversé par diapédèse les capillaires sanguins irrités.

LION trouva des lésions analogues à celles qu'avait décrites Gassmann, mais il les vit tout aussi bien dans le derme que dans l'épiderme.

GUIDO SALA a présenté récemment au Congrès de Berne un travail sur la question. Sur sept animaux présentant de l'épilation ou des lésions superficielles, il n'a trouvé qu'une fois des altérations des centres nerveux.

Nous avons vu que RODET ET BERTIN-SANS (537) ont rencontré du côté de la moelle de cobayes irradiés pendant longtemps des lésions de méningo-myélite, appuyant ainsi la théorie de BARTHÉLEMY et OUDIN qui donnaient pour cause aux radiodermites des altérations nerveuses.

SCHOLTZ (545) est peut-être celui qui a étudié la question de la façon la plus systématique. Il opérait sur la la peau du cochon et faisait des examens histologiques

à divers degrés de la radiodermite. Voici quelles furent ses conclusions que nous empruntons à la thèse de PISSAREFF (597).

« I. Les rayons X influencent surtout les *éléments cellulaires* de la peau, lesquels sont atteints en premier lieu et subissent une longue dégénérescence, tandis que les tissus conjonctifs, élastiques, muscles et cartilages ne sont altérés qu'à un degré très petit et ne souffrent que secondairement.

« II. La dégénérescence atteint surtout les cellules de l'épiderme, puis beaucoup moins les cellules des organes glandulaires, des vaisseaux, des muscles et du tissu conjonctif.

« III. Les processus de dégénérescence sont variés et atteignent aussi bien le noyau que le corps des cellules.

« IV. Aussitôt que la dégénérescence des éléments cellulaires a atteint un certain degré, la réaction inflammatoire se manifeste par une vasodilatation, œdème des tissus et envahissement leucocytaire...

« V. Les lésions des grands et des petits vaisseaux jouent probablement un grand rôle dans l'évolution de l'ulcère et dans sa réparation extrêmement lente. »

Physiologie pathologique des radiodermites

Cette question est certainement la plus obscure de toutes celles qui se rattachent aux rayons X, car les phénomènes intimes de la vie cellulaire sont encore plus mal connus que l'action des radiations nouvelles sur le bioprotéon.

GASSMANN (504) admet comme cause des radiodermites les altérations vasculaires. SCHOLTZ (545) conclut dans le même sens, après nombreuses expériences.

KIENBÖCK (511) penche en faveur d'une modification chimique des tissus produite par les rayons absorbés et transformés au sein des cellules vivantes. Il se formerait des toxines sécrétées par les cellules dont les fonctions auraient été troublées. Leur accumulation correspondrait à la période de latence, et les troubles généraux et locaux n'éclateraient qu'au moment où l'intoxication serait trop forte.

LOUDIN, BARTHÉLEMY ET DARIER (4) s'appuyant sur la lenteur d'apparition des troubles locaux, sur la douleur qui les accompagne, sur la longue durée de leur guérison concluent que les accidents dus aux rayons X pourraient bien ne pas être primitifs mais être dus à une dégénérescence secondaire portant sur les nerfs trophiques de la région. « L'action immédiate des rayons porterait sur les cellules nerveuses sous-cutanées, serait suivie d'une irritation ascendante des fibres nerveuses continuant les cellules, puis d'une névrite centrifuge se traduisant en dernière analyse par la mortification des tissus, » (132 bis p. 4062.

Cette théorie est séduisante, d'abord en ce qu'elle rapproche les radiodermites de maladies très voisines comme aspect et comme marche, lèpre, acromégalie, maladie de Raynaud, mal perforant, dont l'étiologie nerveuse semble démontrée, ensuite parce qu'elle a pour elle des faits expérimentaux de grande valeur.

(4) Congrès de Moscou. 1897.

BRIAUX et MORAT ont en effet présenté, en mai 1897, à la Société des sciences médicales de Lyon des observations de troubles trophiques survenus chez trois chiens à la suite de la section des racines postérieures des nerfs lombaires.

J'ajouterai aux cas que l'on a signalés de douleurs ou de lésions apparaissant dans le territoire d'un nerf dont le tronc seul a été soumis à l'action röntgénique une observation personnelle.

J'avais à traiter, dans le service Électrôthérapique que m'a confié M. le professeur BONDET, à l'Hôtel-Dieu, une dame atteinte de maladie de Dercum. Afin de faire diminuer les productions lipomateuses du bras droit j'exposais le membre aux rayons X. La partie traitée, qui correspondait au milieu de la distance comprise entre le sommet de l'épaule et la pointe du coude, était entourée de plaques de plomb de 2 millimètres d'épaisseur qui recouvraient le reste du bras et l'avant-bras. Or, après la quinzième séance, un érythème très léger ayant apparu à l'endroit insolé, je suspendis le traitement. Quelques jours plus tard une rougeur vive accompagnée de démangeaisons se montrait dans la partie non protégée par les lames de plomb. Or, quelle ne fut pas ma surprise de constater sur l'avant-bras et jusqu'au niveau du poignet, *dans une région que n'avaient pas frappé les rayons*, des placards rouges analogues à ceux que l'on voit dans le zona. Ils étaient accompagnés de vives démangeaisons et siégeaient uniquement à la face externe de l'avant-bras dans le territoire du *nerf radial*. Le tronc nerveux passait justement au niveau de l'endroit que j'avais irradié ;

les modifications trophiques avaient eu leur retentissement bien au-delà. Ajoutons que la radiodermite fut des plus légères grâce aux précautions que nous avions prises et n'incommoda nullement notre malade.

M. LEDUC, de Nantes, admet que les rayons de Röntgen agissent sur l'organisme par le curieux mécanisme suivant. On sait qu'ils ont la propriété de décharger les corps électrisés négativement. Or les tissus vivants sont imbibés de solutions conductrices de l'électricité. Ils forment des électrolytes dont les ions chargés les uns positivement, les autres négativement nagent dans l'eau. Les ions négatifs déchargés par les rayons Röntgen « passent à l'état d'éléments et l'équilibre chimique des solutions et des tissus se trouve troublé... Et de même que l'image latente photographique se conserve lorsque le révélateur n'intervient pas, de même le trouble de l'équilibre chimique dans les tissus ne se manifeste par les lésions consécutives que très tard, lorsque les actes de la nutrition apportent dans ce milieu troublé les substances nouvelles qui jouent, dans cette circonstance, le rôle du révélateur dans le développement de la plaque photographique. » (597, p. 39) Malheureusement les expériences faites pour confirmer cette opinion semblent l'infirmier.

Nous préférons, quant à nous, l'explication donnée par M. BORDIER, de Lyon. Il a constaté, dans des expériences qui avaient pour but de déterminer l'effet que les rayons X pouvaient exercer sur l'osmose, un ralentissement très marqué de l'ascension du liquide dans l'osmomètre, chaque fois qu'il recevait l'influence des rayons (489, p. 55).

Voici alors la genèse des phénomènes de radiodermite telle qu'on peut la concevoir d'après les recherches et les hypothèses précédentes. Sous l'influence des rayons de Röntgen, les échanges osmotiques des tissus sont troublés et la perturbation se renouvelle à chaque exposition. La tunique mince des capillaires, qui remplace le septum poreux de l'osmomètre, est le siège principal de cette modification dans les échanges moléculaires. Il en résulte un trouble de la nutrition de cette tunique et des tissus voisins avec phénomènes inflammatoires qui, d'abord secondaires, ne tardent pas à prendre un rôle prépondérant dans la pathogénie des lésions ultérieures. SCHOLZ et GASSMANN ont bien vu en effet les petits vaisseaux remplis de sang et entourés de leucocytes ; ils ont noté aussi des amas leucocytaires dus à la diapédèse inflammatoire et des hémorrhagies dans le derme.

Si l'action perturbatrice se prolonge ou se répète, les lésions des capillaires se propagent partout. On les rencontre autour des cordons nerveux et dans leur épaisseur ; autour de la moelle qui est le siège d'une congestion, d'une hyperplasie cellulaire, même de petits foyers hémorrhagiques, comme l'ont montré RODET et BERTIN-SANS chez le cobaye. Toutes ces modifications anatomo-pathologiques se retrouvent dans les névrites aiguës de causes diverses. De là résulte une véritable névrite röntgenique qui d'interstitielle peut devenir parenchymateuse, pour passer à la presque chronicité dans les cas graves. Ainsi sont expliquées les éruptions bulleuses, eczémateuses, herpétiformes, les douleurs intenses, les ulcérations atones et rebelles,

la chute des poils ou des ongles, les lésions interminables dans leur marche comme dans leur régression. Les plaies, à leur tour, tendent à perpétuer l'inflammation qui augmente les désordres nutritifs. Si la moelle est touchée surviennent des paraplégies et des paralysies.

Ce tableau de physiologie pathologique est certainement hypothétique, mais il correspond si bien à ce qu'on observe, il repose sur tant d'expériences sérieuses, que je crois, en le traçant, me rapprocher de très près de la vérité sinon l'atteindre tout à fait.

CHAPITRE XIV

Action physiologique des rayons de Becquerel et des rayons du radium.

Lorsqu'on eût étudié les propriétés extraordinaires du radium et des corps radio-actifs, on se mit à rechercher leur action sur les tissus végétaux et animaux. Il semblait, en effet, impossible que le rayonnement mystérieux de ces nouveaux corps n'agit pas puissamment sur le bioprotéon. L'expérimentation a prouvé l'exactitude de l'hypothèse et les applications thérapeutiques ont suivi. Malgré les succès obtenus, il faut se souvenir que le radium est encore un nouveau-né ; il serait téméraire de vouloir juger par ses premiers pas du chemin qu'il pourra parcourir.

1. Action du radium sur les microorganismes

FREUND, GIESEL (587) et WALKHOFF (601) ont expérimenté le pouvoir bactéricide des substances radio-

actives, mais n'ayant à leur disposition que des échantillons de puissance trop faible, ils n'ont obtenu aucune modification, aucun arrêt dans le développement des cultures.

Les travaux récents d' ASCHKINASS et W. CASPARI, en Allemagne, sont les plus complets sur l'action bactéricide du radium (562, 563). Il se sont adressés à des cultures de *micrococcus prodigiosus* dont les cultures sont très rouges et dégagent une odeur forte, deux circonstances qui favorisent l'observation. Le sel radi-fère employé consistait en un gramme environ de bromure de baryum radio-actif. Il était étalé en une couche circulaire de trois centimètres de diamètre au fond d'une capsule de laiton fermée par une lame d'aluminium de $1/10^e$ de millimètre d'épaisseur.

On plaça dans des boîtes de Petri des cultures bien homogènes de *micrococcus* sur agar et on couvrit les boîtes d'une lame de verre sur laquelle furent collées des lettres de métal. Grâce à ce dispositif, on pouvait facilement se rendre compte de l'action supposée des radiations. Si elles agissaient sur les cultures, elles devaient reproduire la forme même des lettres par une sorte de biophotographie. On plaça sur le couvercle de la boîte de Petri ainsi préparée une lame de plomb de un centimètre d'épaisseur percée en son centre d'une ouverture circulaire de 25 millimètres de diamètre et on couvrit le tout de la capsule contenant le radium préalablement fermée par la lame d'aluminium et renversée.

Le *résultat* des expériences fut *nul* et les tentatives furent renouvelées sans succès. Les rayons β analogues

aux rayons cathodiques et les rayons γ comparables, aux rayons de Röntgen, qui seuls traversaient la lame d'aluminium, se montrèrent inactifs sur les cultures.

Pour étudier l'action des rayons α qui semblent constituer la plus grosse partie du rayonnement du radium et qui ne traversent pas une feuille d'aluminium de 0 mil., 1 d'épaisseur, il fallut recourir à un autre dispositif. On retourna la boîte de Petri contenant la culture sur agar préalablement coagulée et on la plaça sur la capsule renfermant le radium. Ici il y avait donc exposition directe des microbes à l'ensemble des rayons α , β et γ . Après une exposition de deux à quatre heures, les cultures furent reportées à l'étuve. Elles restèrent stériles tandis que les cultures témoins préparées en même temps et de la même manière se développèrent normalement.

Comme vérification, ASCHKINASS et CASPARI intercalèrent de nouveau la lame d'aluminium ; ils ne constatèrent plus aucune action. Ils disposèrent l'expérience comme ci-dessus, mais remplacèrent le sel radifère par du bromure de baryum inactif : les cultures ne furent pas influencées.

Une série de recherches permet d'attribuer aux seuls rayons α le pouvoir bactéricide et d'éliminer d'autres causes que l'on aurait pu croire efficaces : le léger dégagement de brome qui se produit au voisinage du sel de radium, la radio-activité induite, etc. Nous renvoyons à l'intéressant travail des auteurs allemands pour de plus amples détails.

Il en résulte que la partie la plus absorbable des radiations radique est fortement active sur la matière

vivante, mais cette constatation d'une haute importance thérapeutique ne doit pas faire oublier qu'une couche d'air de 6 centimètres arrête presque complètement ces rayons. Il faudra donc rapprocher autant que possible la substance radio-active de la surface sur laquelle elle doit agir.

L'action sur les microbes autres que le micrococcus a été essayée par J. DANYSZ (579). Il a pu constater que tous sont empêchés dans leur développement, mais que quelques-uns seulement, comme la bactérie du charbon, qui produisent des diastases protéolytiques auto-digestives, peuvent être tuées dans certaines conditions.

DIXON a expérimenté sur trois sortes de bacilles : *B. pyocyaneus*, *prodigiosus* et *anthracis*. Il n'a pas noté de propriétés bactéricides nettes, mais a vu les microbes paralysés dans leur action et retardés dans leur développement.

HOFFMANN (592), en servant d'un sel de radium pur (5 milligrammes), a pu stériliser des cultures microbiennes et spécialement de staphylocoques.

PFEIFFER et FRIEDBERGER (598) ont confirmé les propriétés bactéricides du radium. Avec 25 milligrammes de radium ils ont arrêtés en 16 heures le développement du bacille du choléra. Les spores, plus résistantes, demandent une exposition plus longues ; celles du *bacillus anthracis* n'ont été tuées qu'au bout de 72 heures.

W. SCHOLTZ a obtenu récemment des résultats analogues (600).

Ces recherches mériteraient d'être continuées pour

chaque espèce microbienne pathogène, en particulier, et spécialement pour le bacille de Koch. Il y a peut-être là en germe une méthode nouvelle du traitement de la tuberculose en détruisant surplace le germe morbide. Mais il faudrait auparavant démontrer que l'action des rayons est élective et atteint les microorganismes en respectant les cellules. Il y a là le sujet de travaux nombreux qui ne sont même pas ébauchés.

Il n'en reste pas moins acquis que le radium possède un pouvoir bactéricide, qui semble cependant inférieur à celui des rayons ultra-violets et des radiations solaires (SCHOLTZ). Il offre, par contre, le double avantage de donner des rayons pénétrants capables d'influencer profondément les tissus et de pouvoir être porté profondément au sein des cavités naturelles inaccessibles aux rayons chimiques et aux rayons X.

Quant à l'émanation, LONDON a essayé récemment son pouvoir bactéricide. Des microbesensemencés sur gélatine introduite dans un ballon d'Erlenmayer de 100 centimètres cubes, qui trois semaines avant avait contenu de l'émanation, ne se développèrent pas. Ceux du ballon témoin poussèrent abondamment (596)

2° Action du radium sur les végétaux

GIESEL a remarqué que sous l'action du radium les feuilles des plantes jaunissent et s'effritent (587).

MATOUT a soumis, dans le laboratoire de M. BECQUEREL, au Muséum, des graines de cresson et de moutarde blanche au rayonnement du radium. Les expériences

portèrent sur un nombre égal de graines divisées en deux séries placées dans les mêmes conditions : l'une était exposée aux rayons radiques, l'autre servait de témoin. Après une semaine d'exposition, on constata qu'aucune des graines exposées au rayonnement du radium n'avait pu germer, tandis que les graines non irradiées germaient dans la proportion de 80 %. Le pouvoir germinatif est donc détruit par le radium. Ces résultats sont bien différents de ceux que nous avons signalés pour les rayons X qui hâtent au contraire la germination des graines.

DIXON constata, au contraire, que l'action du radium sur les graines est nulle, mais nous admettrons avec iss E. WILLCOCK et G. BOHN qu'il y a là une question de dose, activité du sel radifère et durée d'exposition, qui joue un rôle capital.

Tout récemment, DAUPHIN (582) a expérimenté sur les *Mortierella*, champignons inférieurs du groupe des Mucorinées. Lorsque les spores de cette moisissure germent dans des conditions normales, le mycélium qui le constitue est formé de filaments sans aucune cloison transversale mais avec des nodosités de place en place. Les ramifications s'enchevêtrent rapidement et finissent par couvrir une assez vaste étendue.

Vient-on à placer un tube contenant du radium à côté d'un tube mycélien issu de la spore lorsqu'elle a atteint environ 1 millimètre, on le voit s'arrêter dans sa croissance, s'élargir et acquérir de nombreuses cloisons transversales entre lesquelles le protoplasme se condense, se contracte. C'est le commencement de l'enkystement du champignon, qui réagit ainsi

contre les radiations. Les kystes donnent naissance à de nouveaux tubes mycéliens normaux si l'on vient à supprimer l'action radique.

M. DAUPHIN a soumis également aux radiations, non plus le mycélium issu de la spore, mais la spore elle-même. Elle est inhibée en quelque sorte pendant assez longtemps et ne peut germer mais elle n'est pas tuée, car elle peut germer à nouveau si l'on vient à supprimer l'action des radiations de Becquerel.

3^e Action sur les animaux élémentaires

G. BOHN (571) a recherché l'action du radium sur les œufs vierges et fécondés et sur les premiers stades du développement. Il est arrivé à cette conclusion que les rayons agissent particulièrement sur la chromatine ou substance fondamentale du noyau. C'est elle que les biologistes considèrent comme la matière vivante essentielle, car c'est de son activité que résultent l'assimilation et par suite la croissance. Suivant la durée de l'exposition, les radiations du radium l'activent ou la détruisent. Les spermatozoïdes, amas de chromatine nue, sont tués, mais la chromatine de l'ovule protégée par du protoplasma est excitée et on constate des phénomènes de *parthénogenèse*.

Il y a plus, l'irradiation « confère à la chromatine de l'œuf fécondé des propriétés durables qui ont leur retentissement sur l'organisme au moment où celui-ci est en voie de croissance et de rénovation. »

Sur les spermatozoïdes de l'Oursin, BOHN a vu que

le radium exerçait une action néfaste. Leurs mouvements s'affaiblissent assez rapidement et la mort survient. C'est le corollaire des observations qu'à faites ALBERS-SCHÖNBERG et dont nous avons parlé à propos des rayons X. Chez des sujets sains exposés à l'ampoule de Crookes on voit diminuer la puissance reproductive et l'on peut arriver à l'azoospermie complète sans traces de lésions extérieures.

L'émanation du radium tue de même les spermatozoïdes (LONDON).

BOHN s'est demandé ensuite, quel serait l'effet du radium sur les *animaux en voie de croissance*. Il s'est adressé pour cela aux larves plus ou moins âgées de grenouille et de crapaud commun. Il les a placées pendant un temps variable de 3 à 6 heures dans une petite cave renfermant une mince couche d'eau, sur laquelle flottait un tube renfermant quelques centigrammes d'un bromure de radium très actif, et il a pu constater : 1° que 18 embryons de crapaud d'âge divers ont subi un amoindrissement de croissance ; 2° que 19 têtards de grenouille ont tous subi un ralentissement et une diminution de croissance ; 3° que sur 38 embryons de grenouille, 9 sont morts presque immédiatement. Chez les 29 autres la croissance a été diminuée, comme dans les expériences précédentes, mais au jour précis où devait se produire la métamorphose, la transformation de la tête s'est faite anormalement, les téguments céphaliques se sont plissés, un étranglement s'est produit au niveau du cou, les branchies externes ont persisté au lieu de disparaître ; bref le têtard est devenu *un monstre* (570).

De nombreuses expériences faites sur les œufs d'Oursin pendant leur développement ont confirmé les précédentes.

Nous pouvons donc conclure que les rayons de Becquerel ont, sur les formes élémentaires de la vie, une *action néfaste*. Et nous ne saurions trop protester, en passant, contre les chroniques soi-disant scientifiques de certains journaux quotidiens qui jettent dans l'esprit public, à propos des plus intéressantes découvertes, des idées aussi fausses que romanesques. Je lisais justement, à propos des recherches de G. BOHN, que le radium était peut-être la fontaine de Jouvence chantée par les poètes, que le retard apporté à la croissance serait peut-être un jour appliqué à l'homme et que l'on vivrait une éternelle jeunesse ! Le chroniqueur oubliait de dire à ses crédules lecteurs que le jeune éphèbe de ses rêves ne serait, s'il était possible, qu'un monstre, un dégénéré hideux, déformé de corps et sûrement d'esprit.

Tout autres sont les déductions scientifiques des belles expériences de BOHN. C'est parce qu'elles révèlent un fait des plus captivants, capable d'intéresser davantage la santé et l'avenir d'une nation, que nous nous permettrons d'y insister. Nous touchons ici aux plus passionnants problèmes de la biologie : l'organisme *en formation* conserve le *souvenir* d'une influence, d'une *perturbation passagère*; il garde la mémoire latente, mais fidèle, des impressions reçues jusqu'au moment où cette impression se *manifeste* au grand jour par une *modification* dans son être. « *Il suffit, en effet, que les rayons du radium traversent*

le corps d'un animal pendant quelques heures pour que les tissus acquièrent des propriétés nouvelles qui pourront rester à l'état latent pendant de longues périodes, pour se manifester tout à coup, au moment où normalement l'activité des tissus augmente. » Ce fait, qui semble général, peut être rapproché de quelques autres. Si l'on expose une chenille à une lumière colorée, on voit la même couleur se manifester chez la chrysalide (POULTON et MERRIEFIELD).

Ne sait-on pas aussi que l'influence paternelle, qui se manifeste souvent longtemps après la naissance du produit, a été apportée par le spermatozoïde modifiant en quelques instants la chromatine de l'ovule et si profondément qu'elle en garde toujours le souvenir ?

N'y a-t-il pas là sujet de réflexions ? C'est en vain qu'on chercherait à se le dissimuler, l'homme subit la loi commune et s'il n'est pas influencé dans sa formation par le radium, combien d'autres causes aussi pernicieuses viennent troubler son ascension vers la vie. Mon ami, le docteur TAILLASSON, réclamait récemment dans sa thèse (623) la protection de la femme enceinte ; il avait absolument raison. Mais nous irons plus loin que lui ; nous réclamons plus qu'une protection physique, nous demandons qu'on fasse comprendre un peu mieux au peuple le respect qu'il doit avoir pour la femme depuis la conception jusqu'à la naissance de l'enfant, respect à la fois moral et matériel. Et maintenant que la science a fait jaillir d'un corps nouveau non seulement une lumière physique mais une lumineuse vérité, qu'on me permette de citer une des plus

belles pages de MICHELET sur cette question : « Malheur aux enfants des ténèbres, aux fils de l'ivresse, qui, neuf mois avant de naître, ont été un outrage à la mère !

« Celui qui naît de l'orgie nocturne, de l'oubli même de l'amour, d'une profanation de l'objet aimé, entraînera la vie lourde et trouble.

« Au contraire, c'est une grande, une puissante bénédiction. d'être conçu dans la lumière, quand l'amour s'adresse, non confusément au sexe, non à la femme quelconque, mais à cette femme unique, à ce cœur qui est à lui, disant : « *Elle*, et non une autre, » se mirant dans son sourire, dans ses beaux yeux reposés qui lui reflètent l'aurore, dans sa surprise charmante, et son naïf élan qui dit : « Justement je rêvais à toi. »

« L'accord profond, parfait, du cœur, le sens exquis que l'amour, à son moment le plus obscur et dans son ténébreux éclair, garde de la personne aimée, c'est ce qui fait fruit divin, fils de liberté, de *lumière*. Tous deux voulurent. C'est, sans doute, du plus haut amour volontaire qu'ont été conçus les héros. » 615, p. 153).

Mais revenons au radium. On va s'imaginer probablement qu'en présence d'un corps aussi actif, capable de diminuer les sources d'énergie vitale et de causer de profonds troubles trophiques des téguments, les organismes vont fuir comme la chouette devant le soleil. Eh bien il n'en est rien. BOHN (569) n'a jamais constaté un effet tropique quelconque. Il a vu des Vortex venir se fixer sur un tube de radium comme sur un tube de verre ordinaire, des Planaires et des Aselles

se placer sous ce tube et y chercher abri. Une Annélide tubicole, en présence du radium, n'en sort pas moins de son enveloppe.

La lumière blanche et colorée exerce, nous l'avons vu, des effets phototropiques positifs ou négatifs, le radium aucun et ce n'est pas une des particularités les moins singulières de son rayonnement.

Le radium enfin, peut tuer les organismes inférieurs tels que les Amibes, les Infusoires, les Hydres.

MISS E. CR. WILLCOK, opérant sur l'Actinosphœrium, sphère de protoplasme émettant des prolongements en tous sens, a vu qu'une exposition aux rayons de 10 milligrammes de radium placés à 3 millimètres cause sa mort en deux heures.

G. BOHN a pu tuer de même des Crustacés, des Insectes, des Aselles. Les fourmis noires sont très sensibles : huit heures suffisent pour les tuer.

DANYSZ (579) a montré que les chenilles d'un papillon des farines (*Ephertia Kuehniella*) irradiées par un tube de radium ne tardent pas à être paralysées dans leurs mouvements et meurent deux ou trois jours plus tard.

Effets de l'émanation (1). — En se reportant à l'étude physique du radium, on peut voir que ce corps semble dégager d'une façon permanente une substance matérielle radio-active, qui se répand dans l'espace et à laquelle M. RUTHERFORD donne le nom d'*émanation*.

(1) Nous indiquons ici les effets de l'émanation car on ne sait pas encore nettement si elle est un rayonnement ou une vapeur matérielle, quoiqu'on penche pour la seconde hypothèse.

L'émanation a une action bien plus intense que le radium lui-même.

DANYSZ (579) l'a vu paralyser des chenilles d'*Ephestia* comme les rayons eux-mêmes, mais donner de plus à la cuticule, sur la face dorsale, une teinte brun foncé.

Le développement des microbes du charbon est totalement empêché quand on les laisse pendant 24 heures dans une atmosphère chargée d'émanations.

BOHN (572) a réalisé des expériences plus saisissantes encore qui montrent toute l'énergie de cette vapeur impondérable, poison subtil et pénétrant. Dans deux ampoules de verre que l'on avait mises préalablement en communication avec une enceinte contenant du radium, il introduisit des Daphnies et des Fourmis rousses. Trois heures plus tard les Daphnies étaient mortes ; quant aux quatre Fourmis rousses, elles furent paralysées.

4^e Action sur les Vertébrés.

Comme les rayons X, le radium brûle, paralyse et tue. DANYSZ (580) a déterminé la destruction de l'épiderme chez le lapin à la suite d'applications de radium pendant 24 à 48 heures. Le résultat a été le même chez le cobaye. Dans les deux cas les tissus conjonctif et musculaire n'ont pas été atteints, Mais, chez le lapin, il y a eu excitation de la pousse des poils tandis que le cobaye a eu de l'alopecie. « En opérant sur des lapins et des cobayes dans des conditions identiques,

dit DANYSZ, j'ai pu constater que la peau des cobayes est beaucoup plus sensible que la peau des lapins ; En effet, une application qui produit chez le cobaye une plaie et une alopecie assez étendue ne fait, au contraire, qu'exciter la croissance des poils chez le lapin. »

C'est ainsi que les rayons du radium peuvent détruire des organes dont ils activent le fonctionnement dans d'autres conditions.

Les radiations produites par un échantillon de faible puissance placé au-dessus d'une cage renfermant des souris ont déterminé chez ces animaux de l'érythème, de la chute des poils, puis une dermatite suintante, mais pas ou presque pas de troubles généraux.

DANYSZ (579), en opérant sur de petits animaux, a pu provoquer l'apparition de phénomènes nerveux et la mort. De tous les tissus, l'épiderme et le tissu nerveux sont les plus sensibles à l'action radique, mais le système nerveux central est infiniment plus sensible que l'épiderme.

« Ainsi, quand on glisse sous la peau d'une souris âgée d'un mois, un tube de verre de 1 millimètre 5 de diamètre sur 3 centimètres de long, contenant à peu près un centigramme d'un sel de radium très actif, de façon à le placer exactement au-dessus de la colonne vertébrale et d'une partie du crâne, on provoque déjà au bout de trois heures des phénomènes de parésie et d'ataxie. Au bout de 7 à 8 heures, la petite souris est prise d'attaques, de convulsions tétaniformes qui, si on laisse le tube en place, deviennent de plus plus fréquentes et la tuent en 12 à 18 heures. Des souris de même âge ont supporté pendant plus longtemps des tubes

de verres vides de dimensions un peu plus fortes, sans en être incommodées.

Des souris de 3 à 4 mois traitées de la même façon, meurent avec les mêmes symptômes en trois ou quatre jours. Les souris âgées de un an ne meurent qu'après 6 à 10 jours. A mesure que l'âge augmente, la mort survient plus tardivement. Chez un lapin adulte trépané et soumis à l'action du radium pendant 8 heures, une hémiplegie gauche s'est produite, mais le 3^e jour seulement.

DANYSZ a pu supprimer l'introduction du tube de radium sous la peau et obtenir néanmoins des paralysies. C'est le cas des souris qu'il avait placées dans une petite cage au plafond de laquelle était suspendu un tube de radium très actif. Ici la paralysie n'a pas été précédée ou accompagnée d'une inflammation des téguments.

LONDON a publié des résultats analogues qui viennent confirmer les faits précédents.

Mais si les rayons de Becquerel agissent sur les épithéliums et le tissu nerveux avec une pareille énergie, quelle ne doit pas être leur action sur les *séreuses*, le *péritoine* en particulier, dont la susceptibilité est si grande vis-à-vis de toutes les causes irritantes? Phénomène remarquable, les intestins, les séreuses semblent très peu sensibles.

DANYSZ (579) a pu faire pénétrer dans la cavité péritonéale des cobayes des ampoules contenant un composé de sulfate de baryum et de radium et les y laisser pendant un à quatre mois sans déterminer aucune lésion. Ce fait, fort curieux, est à rapprocher de l'ob-

servation de SCHOLTZ (600) qui a pu irradier la région abdominale de deux lapins avec une ampoule de Crookes pendant 10 jours, 10 minutes chaque jour et à 15 centimètres de la peau sans déterminer aucune modification des viscères ou du péritoine.

Effets de l'émanation. — E. S. LONDON (596) a communiqué le 15 mars 1904 à la Société d'hygiène de Saint-Petersbourg le résultat de ses intéressantes expériences. Il a essayé l'action de l'émanation sur les grenouilles et les souris blanches. Il a vu mourir les unes et les autres en quelques jours. Les grenouilles soumises à l'émanation dans des bouteilles de 2135 cent. cubes de capacité devenaient rapidement faibles, indolentes; elles disposaient leurs membres d'une façon asymétrique. Vers le 9^e ou le 10^e jour la respiration devenait pénible; les inspirations s'allongeaient et étaient coupées de pauses. La mort survenait vers le 14^e jour, tandis que les animaux témoins, *cæteris paribus*, vivaient deux semaines de plus.

L'examen histologique de la peau du dos montrait : nécrose et détachement de l'épiderme par lambeaux, injection sanguine de l'épiderme et dégénérescence hyaline du tissu conjonctif.

De jeunes souris pesant de 1 à 3 grammes furent exposées pendant quatre heures à l'émanation. Au bout de 2 à 3 jours elles cessaient de téter, elles respiraient d'une façon irrégulière, elles tombaient sans force sur le flanc et ne tardaient pas à mourir étouffées. Le microscope révélait dans les poumons des vaisseaux dilatés et des hémorrhagies. Après des ex-

positions plus prolongées on put noter chez d'autres souris de la transsudation sanguine dans les alvéoles pulmonaires et dans la peau de l'hyperémie sous-cutanée.

L'émanation s'est donc comportée dans tous ces cas comme un gaz ou une vapeur d'une très grande toxicité. A dose modérée, cet agent si actif pourra peut-être devenir un excellent moyen thérapeutique.

5° *Action sur l'homme*

WALKOFF (601) a, le premier, observé l'action du radium sur l'épiderme. GIESEL (587) l'a confirmée et la radiumdermite est bien connue depuis la communication de BECQUEREL et CURIE à l'Académie des Sciences le 8 juin 1901 (567).

Si l'on vient à disposer sur la peau une capsule en celluloid ou en gutta-percha renfermant un sel de radium très actif et qu'on le laisse quelque temps en place, on voit apparaître au bout d'un certain temps un érythème, puis de petites vésicules, enfin une ulcération d'autant plus longue à guérir que l'épiderme a reçu plus longtemps les rayons de Becquerel. Voici, du reste, l'auto-observation de CURIE qui avait fait agir sur son bras pendant 10 heures un produit radiant peu actif (5.000 fois plus que l'uranium) à travers une mince feuille de gutta-percha. « Après l'action des rayons, la peau est devenue rouge sur une surface de 6centimètres carrés; l'apparence est celle d'une brûlure, mais la peau n'est pas ou est à peine douloureuse. Au

bout de quelques jours, la rougeur, sans s'étendre, se mit à augmenter d'intensité ; le 20^e jour il se forma des croûtes, puis une plaie que l'on a soignée par des pansements ; le 42^e jour, l'épiderme a commencé à se reformer sur les bords, gagnant le centre, et 52 jours après l'action des rayons, il reste encore à l'état de plaie une surface de 1 centimètre carré qui prend un aspect grisâtre indiquant une mortification plus profonde. » Quatre mois après, la cicatrisation était à peine terminée et laissait des marques très visibles.

M. BECQUEREL fut victime d'un accident plus grave que nous relaterons avec détails parce qu'il constitue un tableau assez complet de l'évolution d'une radium-dermite.

Les 3 et 4 avril 1901 il plaça dans sa poche de gilet, pour les transporter, quelques décigrammes de chlorure de baryum radifère 800.000 fois plus actif que l'uranium, c'est-à-dire très puissant. Le rayonnement du produit était tellement pénétrant qu'il déterminait la fluorescence du platino-cyanure de baryum à travers tout le corps.

L'illustre savant, ne se méfiant pas du nouveau produit, n'avait pris aucune précaution spéciale et avait fermé le radium dans un simple tube de verre de 20 millimètres de longueur sur 4 millimètres de diamètre, scellé au chalumeau. Un peu de papier et une boîte de carton renfermait le tout.

Tout alla bien pendant les 6 heures que M. Becquerel garda sur lui le radium. De même, dans les jours qui suivirent, rien ne vint lui faire soupçonner le travail latent de destruction qui s'opérait dans ses tissus.

Le 13 avril, il s'aperçut que la paroi abdominale, en face de la poche du gilet, présentait un peu d'érythème qui ne tarda pas à se foncer de plus en plus et à prendre la forme allongée du tube de radium. Le 24 avril, la peau tombait et une ulcération se formait accompagnée de suppuration. Cette ulcération, qui ne fut à aucun moment douloureuse, fut pansée avec du liniment oléo-calcaire, mais se cicatrisa avec une telle lenteur que le 22 mai seulement l'épiderme s'était reformé.

Ce n'était pas tout. Le 15 mai, une deuxième lésion débuta comme la première par de l'érythème situé en face de l'autre coin de la poche du gilet où M. Becquerel avait laissé une deuxième fois l'échantillon de radium pendant une heure environ. Onze jours plus tard la peau tombait et la brûlure nécessitait les mêmes soins que la première.

Voilà plus de trois ans que ce double accident s'est produit et la cicatrice persiste *indélébile*. Voici du reste ce que M. BECQUEREL a eu l'amabilité de nous écrire à la date du 29 mai 1904. « Aujourd'hui, l'aspect de la brûlure principale est le suivant : il y a une cicatrice très marquée figurant l'emplacement de la source active et toute la région atteinte (6 cent. $\times$ 4 cent.), après avoir été longtemps tout à fait blanche, se colore de plus en plus et est parsemée de filets sanguins et de points bruns. La sensibilité est complètement revenue.

« La seconde brûlure, plus petite, est encore marquée par une teinte plus colorée parsemée de filets sanguins. »

On voit avec quelle énergie les substances radioac-

lives peuvent modifier les tissus après quelques heures seulement d'exposition.

M^{re} CURIE ayant gardé, pendant une demi-heure, dans sa main, une substance très fortement radio-active enfermée dans une double enveloppe (verre et métal), a vu apparaître deux semaines après un érythème assez intense qui fit place à un soulèvement de l'épiderme rempli de sérosité.

Ces *radiumdermites* sont tout à fait comparables aux radiodermites aiguës ainsi que le fait remarquer ORDIN qui a eu l'occasion de voir les lésions de MM. BECQUEREL et CURIE.

« Pour la plaie de M. Curie, dit-il, la ressemblance est encore plus frappante, car j'ai pu voir la lésion passer de la troisième à la quatrième période. Le 28 mai 1901, deux mois après la cause nocive, elle présentait à son centre une ulcération irrégulière de la dimension d'une pièce de 50 centimes environ, à la surface granuleuse et bourgeonnante, semblant en bonne voie de réparation. La cicatrice autour était blanche, nacréée, entourée d'une auréole rouge à bord externe pigmenté, sans douleurs spontanées, mais douloureuse au toucher. La guérison semblait n'être plus l'affaire que de quelques jours. Or, le 4^{er} juin, quatre jours après ce premier examen, la partie bourgeonnante se piquetait de taches d'un brun jaunâtre, et prenait, en quelques jours, l'aspect d'une eschare épaisse. Il fallut encore près de six mois pour que l'eschare se détachât et que la cicatrisation fut complète » (132 bis, p. 1051).

A côté de ces lésions aiguës, viennent se placer les lésions chroniques beaucoup moins graves, véritables

radiumdermatites qui n'ont guère atteint jusqu'ici que quelques savants.

M. CURIE a signalé, en effet, que lorsqu'il passait, comme ces dernières années, plusieurs heures par jour à manier des produits radifères, il a vu l'épiderme palmaire de ses mains devenir sec et desquamer, les extrémités des doigts durcir et présenter une hyperesthésie douloureuse. Il a même constaté l'apparition de quelques ulcérations.

Il me suffira de renvoyer au tableau que j'ai tracé de la radiodermatite des opérateurs : la ressemblance est tellement frappante qu'elle ne peut relever que de causes analogues : parenté des rayons de Becquerel avec ceux que produisent les ampoules de Crookes.

Une action que l'on a peu étudiée jusqu'ici et qui présente cependant une très grande importance est celle que le radium exerce sur l'œil, au point de vue trophique.

LONDON a procédé aux expériences suivantes : « Je pris un lapin, dit-il, il fut attaché à une table et ses yeux furent couverts d'un bandeau noir non transparent. Lorsque, 20 minutes après, j'approchai à plusieurs reprises de son œil une boîte contenant du radium, il ne manifestait par aucun signe extérieur qu'il sentait la lumière. Ensuite, le bandeau fut enlevé, et je plaçai pour 3 heures la boîte de radium sur l'œil couvert par les paupières. Durant trois semaines environ, rien ne fut observé, ni sur les paupières, ni sur l'œil. Mais dans le courant de la quatrième semaine un foyer nécrotique commença à se développer sur les paupières et une ternissure répandue apparut sur la cornée. L'examen ophthalmologique démontra qu'une tache

jaunâtre (*retinitis centralis*) était apparue sur le fond rouge de l'œil et s'était élargie avec le temps. La plaie sur la peau de la paupière se cicatrisa peu à peu, tandis que la ternissure de la cornée et la rétinite centrale durent encore jusqu'à présent, bien que près de trois mois se soient écoulés depuis le jour de l'expérience. Un cobaye qui était resté pendant deux jours, pour les besoins d'une autre expérience, dans la sphère des rayons du radium, devint, deux mois après, absolument aveugle d'un œil et notamment de celui qui était tourné vers la source de rayons, c'est-à-dire vers la boîte de radium. Une atrophie de l'œil (*phthisis oculi*) s'était produite chez ce cobaye (595 p. 268). »

Ces remarquables expériences viennent confirmer l'hypothèse que nous émettions à propos de l'action lente et répétée des rayons X sur l'œil. Nous ne saurions trop engager les médecins radiographes à se protéger contre les radiations nouvelles. Du reste, GRUMNACH a déjà noté que lorsqu'il faisait des recherches sur le radium il ne tardait pas à éprouver de la rétinite douloureuse.

Action de l'émanation et de la radio-activité induite. — Les récentes expériences de LONDON, de Saint-Pétersbourg (596), si clairement exposées dans les *Archives d'Electricité médicale* (n° du 25 mai 1904), nous permettront d'indiquer l'action indirecte du radium par le moyen de son émanation ou de la radio-activité qu'il communique aux divers corps.

On peut s'adresser pour ces recherches soit à des *objets creux* renfermant l'émanation, soit à des *objets*

durs radio-activés, soit à des *objets poreux* imprégnés de l'émanation. LONDON a essayé les trois méthodes.

A) Il remplit un petit tube de l'émanation, puis le fixa sur la peau de son bras pendant 56 heures. Cinq jours après apparut un peu d'érythème qui s'accompagna pendant quatre jours de sensation de brûlure et de serrement et qui disparut en laissant un peu de pigmentation et d'hyperesthésie de la peau.

B) Il appliqua sur son bras droit deux pièces de monnaie qui avaient été exposées à l'émanation. Elles restèrent en place deux heures. Douze heures après on constatait de l'érythème qui fit place, au bout de deux semaines, à une teinte brune accompagnée d'une légère desquamation. Trois mois plus tard on voyait encore ces traces.

C) La ouate radio-activée donna des résultats analogues mais bien plus accusés. Après trois applications successives au même endroit, il se produisit une radium-dermite assez accentuée, suivie d'enflure et de prurit persistant.

La facilité avec laquelle on rend diverses substances radio-actives et la possibilité que l'on a de couvrir de larges surfaces avec de la ouate radio-active qui se moule sur le membre à traiter feront peut-être de ce procédé une méthode thérapeutique pratique.

*Conditions qui déterminent les réactions de la peau
aux rayons de Röntgen et à ceux de Becquerel*

L'identité des effets des radiations radiques et des radiations X, nous autorise à faire une étude d'ensemble, des conditions qui déterminent les réactions cutanées chez l'homme et les animaux. Les éléments de ce chapitre sont épars dans les observations et les expériences que nous avons citées; nous n'aurons qu'à les réunir pour les mettre en lumière.

A) *Stade de latence.* — Tout d'abord, il est à remarquer qu'entre le moment où ont agi les rayons et la réaction de la peau il s'écoule toujours un long intervalle qui est de une, deux ou trois semaines pour les rayons X et qui peut dépasser vingt jours pour le radium. M. CURIE, dans une expérience faite sur lui-même en appliquant un échantillon d'intensité 200.000 pendant 6 minutes sur son bras, n'a pu noter les premières traces de réaction qu'au bout de 50 jours et l'acmé de l'ulcération deux mois après l'exposition.

Cette longue incubation, qui est de la plus haute importance pour les applications thérapeutiques est certainement un des points les plus troublants et les plus intéressants à la fois de l'action mystérieuse des radiations nouvelles sur les êtres vivants. Elle établit une distinction très nette entre les radio et les radiumdermites d'une part et les brûlures causées par le soleil ou par les sources puissantes de lumière électrique. On sait en effet que les accidents dus aux rayons ultra-

violet se manifestent *quelques heures seulement* après l'impression des tissus.

B) Influence du temps de pose. — SCHOLTZ (545), expérimentant sur les rayons X, prit un cochon et exposa une partie de sa peau un quart d'heure, une autre pendant une heure, une troisième chaque jour pendant demi-heure jusqu'à l'apparition du début de la réaction cutanée. Pendant ces recherches l'ampoule était toujours à 15 centimètres de téguments. Il constata que la réaction était d'autant moins rapide et moins intense que l'éclairage était plus faible et plus court; qu'un stade de latence de huit jours séparait toujours le début des irradiations même intensives; que les lésions n'arrivaient que lentement à leur apogée.

DANYSZ conclut d'autre part, après des recherches comparatives avec 50 milligr. de bromure de radium pur et 23 milligr. d'un mélange à parties égales de chlorure de baryum et de radium, que « la gravité des lésions augmente avec la pureté du produit et le temps de l'exposition ». (580),

BLOCH et BLANDAMOUR (568 bis, p. 85) ont noté que l'intervalle entre l'application et le début des réactions cutanées était d'autant plus court que le corps radio-actif était plus énergique et plus longtemps maintenu en place. Ainsi dans une de leurs observations (Obs. VII) l'application d'une plaque de 19.000 unités uraniques pendant quatre jours a laissé voir une ulcération dès la levée de la plaque. Il est vrai que les tissus étaient malades en ce point ce qui enlève à l'observation une grande partie de sa valeur pour notre étude purement physiologique.

Pour une pose de 24 heures dans les mêmes conditions (tissus malades) l'excoriation ne s'est produite qu'au bout d'une semaine environ.

Nous rappellerons l'auto-observation de CURIE qui, après application pendant 6 minutes d'un sel très actif, (200.000 unités U) a dû attendre 50 jours pour voir apparaître de l'érythème et 2 mois pour voir naître l'ulcération.

On semble donc autorisé à conclure, en attendant des recherches plus nombreuses et nécessaires, que le radium agit d'autant mieux que le temps de pose est plus long. On pourrait ainsi obtenir avec des échantillons moins purs le même effet qu'avec des sels très actifs et partant fort coûteux.

C) Y a-t-il cumulation d'action? — On a remarqué dit DE PISSAREFF, dans sa thèse inaugurale, « que la peau, après une ou plusieurs expositions aux rayons X, qu'elle ait accusé ou non une réaction, acquiert une plus grande sensibilité vis-à-vis de ces rayons. Il semble que les actions séparées s'ajoutent et produisent une sorte de *cumulation* d'action. » (597, pag. 30).

UDIN affirme au contraire « que l'action nocive de séances de radiothérapie séparées par un certain intervalle de temps ne s'additionne pas... Cinq séances quotidiennes de cinq minutes ne produiront aucune lésion, une séance de vingt-cinq minutes aura des suites graves ». (132 bis, p. 1067).

On peut, il me semble, concilier des avis aussi opposés, Il y a dans chacun une part de vérité. Les tissus qui ont été soumis à l'action des rayons X ont été mo-

diffiés dans leur nutrition intime. Il sont donc plus vulnérables et parlant plus susceptibles envers toute cause d'irritation ou tout traumatisme ultérieur. Le lapin de Kienböck vient à l'appui de cette thèse. Un lapin avait présenté un radiodermite sur le sommet de la tête avec alopecie et suintement. Les lésions avaient disparu, lorsque cinq mois et demi après le commencement du suintement on constata une récidence. La bête s'était blessée à l'endroit de l'ancienne lésion röntgenienne, une alopecie nouvelle se produisit et fut suivie d'un ulcère.

Veut-on d'autres exemples ? Je me bornerai à ceux, si caractéristiques, relevés par OUDIX (Société d'électrothérapie, mars 1900 — 527). Chez une malade du service du Dr BAR, on fit une injection de sérum à un endroit où, six mois auparavant, on avait fait une séance de rayons X. Il se produisit rapidement une large eschare autour de la piqure ainsi que la mortification des tissus partout où le sérum s'était répandu. — Chez une autre, une simple douche tiède projetée sur l'endroit autrefois exposé provoqua une lésion analogue à une radiodermite. — Chez une troisième les papules syphilitiques naissant sur une surface qui avait été irradiée donnèrent toutes lieu à des ulcérations.

Il ressort nettement de ces faits qu'il n'y a pas eu là, à proprement parler, de cumulation d'action puisque une nouvelle lésion a pu être déterminée par un agent autre que les rayons X.

Mais on peut admettre aussi que si l'on soumet trop longtemps, ou à des intervalles trop rapprochés une partie de la peau aux rayons, on arrivera aux acci-

dents inflammatoires beaucoup plus vite que si l'on fait des séances courtes et espacées. Il se produit dans ce dernier cas une sorte de tolérance plus grande vis-à-vis de l'agent perturbateur, quelque chose comme une mithridatisation. Il faut se souvenir cependant de la loi de KIENBÖCK qui admet que le degré de la radio-dermite dépend de la *quantité* de rayons absorbée par la peau. Il y a donc, en somme, *addition* des effets thérapeutiques.

Pour le radium, il semble en être exactement de même. BLANDAMOUR a signalé que quelques applications successives de plaques radio-actives n'ont pas amené d'ulcérations comme dans le cas de poses prolongées et ont cependant influencé les tissus d'une façon très notable. L'action d'une pose s'est donc ajoutée aux précédentes (568 bis).

D) Différence de sensibilité des diverses régions du corps. — En général, les sujets jeunes et délicats sont plus sensibles aux rayons X, toutes choses égales d'ailleurs. BENEDIKT a signalé que les personnes blondes sont plus prédisposées à l'action röntgenienne et que l'alopécie se produit chez elles plus rapidement (484).

Les femmes et les enfants réagissent plus vite que les hommes et les adultes.

Les régions les plus impressionables sont, par ordre de sensibilité, les muqueuses selon KIENBÖCK (511), puis la peau du visage, ensuite celle des plis de flexion des membres supérieurs, des membres inférieurs, enfin celle du dos. La réaction inflammatoire du cuir chevelu est souvent très courte mais est suivie rapidement de lésions plus graves.

Le radium a de même une action plus intense sur certaines portions de l'épiderme. L'expérience de OUDIN sur ce sujet est absolument concluante. Pendant le même temps (vingt minutes) il exposa différentes régions de la peau d'un cobaye en parfaite santé aux rayons d'un échantillon de radium très actif. Un mois après, les paupières présentaient de l'alopecie, la cuisse et le talon n'avaient rien ; deux mois après il en était encore de même.

Il est permis d'espérer que bientôt on possèdera une topographie du corps humain au point de vue de la sensibilité aux radiations nouvelles et qu'on pourra éviter ainsi des expositions dangereuses par leur intensité.

E) Fragilité plus grande de la peau malade. — Nous avons vu, en traitant de la radiodermatite chronique, que plus la lésion est ancienne, plus la peau devient sensible aux rayons. Une exposition de quelques minutes provoque une poussée d'érythème qui aurait, sur une peau saine, demandé beaucoup plus de temps pour se produire.

D'autre part, dans le paragraphe C de ce chapitre, nous avons relaté quatre cas dans lesquels un traumatisme au niveau d'un endroit autrefois irradié a amené des lésions simulant une radiodermite. Supposons, au lieu d'un choc, d'une piqûre, une nouvelle exposition aux rayons perturbateurs. Les accidents vont se produire et beaucoup plus rapidement que sur un épiderme sain.

Aussi, dans tout traitement radiothérapique, faudra-

t-il s'enquérir avec soin si le sujet n'a pas déjà été exposé aux rayons de Röntgen.

Dans les effets produits par le radium, il faut accorder aussi une notable influence à l'état antérieur des régions que l'on soumet à ce traitement.

Une zone lupique, avec un épiderme aminci, malade depuis longtemps, sera naturellement plus susceptible qu'une région absolument saine. Nous renvoyons à la thèse de BLANDAMOUR pour les exemples qui sont nombreux (568 bis).

F. Sur quels tissus agissent de préférence les radiations.

— Dans l'étude de l'action physiologique des rayons X nous avons vu que la peau et le système nerveux sont atteints de préférence aux autres tissus.

L'action du radium est absolument comparable.

Il résulte en effet des recherches de BOHN et de DANYSZ que le système nerveux est très sensible et que l'épiderme l'est un peu moins tandis que les tissus conjonctif et musculaire sous-jacents ne présentent qu'une réaction très faible.

Mais si l'on voit des lésions portant surtout sur l'épiderme, alors que les centres nerveux restent intacts, c'est que le tissu osseux, chez l'adulte, protège très efficacement la substance nerveuse contre les radiations. Chez les jeunes animaux il en est tout autrement, car le tissu cartilagineux ne s'oppose guère au passage des rayons.

Les tissus en voie de croissance ont une susceptibilité toute particulière aux rayons X ou aux rayons de Becquerel ; ils sont modifiés d'une façon durable. Les

jeunes cellules sont atteintes profondément dans leur vitalité et s'en souviennent. Les tissus adultes sont beaucoup moins impressionnables, toutes choses égales d'ailleurs. « Ce fait est important à noter, dit DANYSZ, parce qu'il expliquerait l'action en quelque sorte *spécifique* des rayons du radium sur les néoplasmes qui peuvent être atteints et profondément modifiés, à travers la peau et une couche de muscles, sans que ces derniers soient atteints d'une façon appréciable. » (580).

G. La question de l'idiosyncrasie. — La diversité des conditions dans lesquelles on obtenait des radiodermites, surtout au début, avait donné à penser qu'il existait peut-être une disposition plus ou moins grande de chaque sujet aux radiations nouvelles. C'était commode, en tout cas, pour rejeter sur le patient les troubles que l'on constatait chez lui après des applications faites au hasard.

Mais OUDIN et BARTHÉLEMY concluent, après avoir longuement et minutieusement expérimenté sur les sujets les plus dissemblables comme constitution, tempérament, structure et couleur de la peau et des poils, *qu'il n'existe pas de sujets plus vulnérables que d'autres*.

KIENBÖCK nie également l'idiosyncrasie et admet que la réaction de la peau ne dépend que de la quantité de rayons qu'elle a absorbée.

BÉCLÈRE et son élève DE PISSAREFF (597) l'admettent dans une certaine mesure. Nous nous rangerons à leur avis. Il serait bien étonnant que certains sujets ne soient pas un peu plus sensibles que d'autres au même agent physique. On le voit chaque jour pour les

remèdes chimiques, pour la cocaïne et le mercure en particulier.

Mais, de même qu'il y a malgré cela une posologie spéciale et bien déterminée pour chaque médicament, de même il n'en reste pas moins vrai que deux facteurs d'ordre physique, la *qualité* et surtout la *quantité de rayons absorbée*, jouent un rôle capital dans les applications radiothérapiques.

Il est probable que le radium ne fait pas exception à la loi de Kienböck que nous venons de rappeler, mais il faut attendre encore pour avoir sur cette intéressante question des recherches spéciales.

Anatomie pathologique des lésions dues au radium.

BOHN a insisté sur ce fait que chez les Vertébrés l'action radique porte surtout sur les *vaisseaux* et que les troubles vaso-moteurs qui causent les paralysies centrales revêtent une importance de premier ordre (569).

DANYSZ a relevé également des troubles vasculaires, démontrés par l'examen microscopique, dans le cas de paralysie ou de mort rapides provoquées par l'application de radium au voisinage de la substance nerveuse. « Sur des coupes de cerveau et de moëlle que M. MANOUÉLIAN a bien voulu préparer pour nous, dit-il, on trouve les capillaires rompus et la substance nerveuse noyée dans du sang. Les cellules nerveuses ne présentent aucune altération appréciable. La paralysie et la mort de l'animal semblent résulter, dans ce cas, d'un processus hémorrhagique intense. » (580)

Mais, alors que BOHN, même chez les Vertébrés inférieurs, n'a jamais observé d'altérations directes du tissu nerveux, DANYSZ, dans les cas de mort lente, admet une action spéciale portant sur la cellule nerveuse sans nier cependant l'action sur les vaisseaux. On voit que des examens histologiques s'imposent pour trancher définitivement le différend.

Il semble bien, du reste, que les troubles du système vasculaire soient constants, SCHOLTZ de Königsberg les a retrouvés dans ses recherches récentes (600). Vingt heures environ après l'exposition, c'est-à-dire beaucoup plus tôt qu'avec les rayons X, il a constaté une forte dilatation vasculaire. Au microscope on trouve 20 à 24 heures après l'irradiation la dilatation vasculaire du corps papillaire déjà signalée par HALKIN.

Il est intéressant de rapprocher ces résultats de ceux que nous avons indiqués à propos des rayons X. Il n'y a point de différence essentielle ; tout au plus peut-on noter avec le radium une diminution de la période de latence, la précocité de l'érythème et la précocité des troubles vasculaires. Le processus semble être le même et nous proposerons la même explication des lésions observées.

6° Action du radium sur la matière vivante

Nous ne serions pas complet sur les curieuses propriétés physiologiques du radium si nous laissons de côté son action sur la matière vivante, sur les *pigments* (in vivo et in vitro), sur les *ferments*, sur les *matières colloïdes* (éléments constitutants de la matière vivante).

Nous avons réservé cette revue des résultats obtenus pour la fin, parce que les documents sont tout récents (fin 1903 et 1904) et que les conclusions s'appliquent aussi bien aux végétaux qu'aux animaux et à l'homme.

A. Action sur les pigments. — Le rayonnement du radium, analogue en cela aux radiations de Röntgen, agit fortement sur la pigmentation. Si son action est modérée, la production du pigment est exagérée dans les tissus, et de préférence dans les tissus jeunes ou en voie d'évolution. Si l'action est très prolongée, le pigment naturel ou pathologique de la peau peut disparaître. BOHN a pu ainsi, par des applications assez longues, effacer des *noevi* purement pigmentaires. DANYSZ a vu de même les poils de souris noires et grises tomber après l'action radique, puis repousser *blancs*. Il est à présumer que cette canitie expérimentale ne recevra guère d'applications, personne ne songeant à blanchir avant l'âge ; mais des auteurs sérieux ont avancé qu'il y avait peut-être là en germe le moyen de donner aux nègres une peau à l'Européenne. Reste à savoir si les dangers du traitement ne l'emporteraient pas sur les avantages de la décoloration.

BOHN (569) attribue une grande importance à la formation du pigment : il fait remarquer que le pigment semble lui-même radioactif (GRIFFITHS). Le rayonnement d'un pigment semble donc capable d'agir sur un autre pigment, ce qui permettrait d'expliquer par la radioactivité les cas de mimétisme vraiment extraordinaires qu'offrent certains insectes (ressemblance d'une Kallima et d'une feuille).

L'action sur les pigments a été essayée aussi *in vitro*. La chlorophylle jaunit très vite sous l'influence du radium tout aussi bien en solution alcoolique que dans les feuilles (GIESEL, 587). Mais elle n'est pas seule à être influencée. L'hémoglobine, qui présente avec celle tant d'analogies (NENCKI), est transformée en méthémoglobine sous l'influence des rayons α et β . V. HENRI et A. MAYER (581), à qui l'on doit ces découvertes récentes, ont placé un sel de radium très actif dans un tube au milieu d'une solution d'hémoglobine. A l'aide du spectro-photomètre ils ont pu s'assurer que la solution d'oxyhémoglobine se transforme peu à peu en un mélange complexe d'hémoglobine et de méthémoglobine. La proportion de cette dernière va en augmentant de plus en plus au dépens de l'autre ainsi que le montre l'observation des bandes d'absorption.

B. Action sur les ferments et les venins. — DANYSZ n'a pas obtenu de résultat bien positif. Au contraire, V. HENRY et A. MAYER (591) ont pu voir sous l'influence du radium diminuer puis disparaître l'activité de ferments en solution, tels que l'invertine, l'émulsine, la trypsine. Il est bon d'ajouter que l'action du radium était prolongée pendant un temps très long.

La vitesse de coagulation du sang et de la caséification du lait n'a subi, par contre, aucune variation sensible.

On peut rapprocher de ces recherches celles toutes récentes de PHISALIX qui a constaté une atténuation de plus en plus grande de la virulence du venin de la vipère lorsqu'on le soumettait aux radiations du radium.

Par contre, LONDON vient de constater que les ferments gastrique et pancréatique offrent vis-à-vis de l'*émanation* une grande résistance. La zymase de Buchner se laisse influencer un peu plus facilement (596).

C). Action sur les matières colloïdes. — On sait que les matières colloïdes sont des substances incristallisables très répandues dans les organismes vivants. Tous les liquides de l'organisme en renferment et elles constituent la substance même des membranes animales à travers lesquelles se passent les phénomènes de dialyse nécessaires pour l'absorption et la sécrétion. Or ces substances peuvent se diviser en *positives* et *négatives*. Dans une solution traversée par le courant électrique les premières en effet cheminent dans le sens du courant, les secondes en sens inverse.

HARDY (590) a, le premier, montré l'influence du radium sur ces substances. Partant de la globuline extraite du sang il a préparé deux solutions l'une positive (acide-albumine) l'autre négative (alcali-albumine). Exposées devant un échantillon de bromure de radium pendant le même temps, on les vit présenter les phénomènes suivants : la solution négative donna en trois minutes une gelée opaque, la solution positive gagna en mobilité et perdit de son opalescence.

De leur côté V. HENRY et A. MAYER (591) ont pu s'assurer que les rayons β , qui sont constitués, nous l'avons vu, par des projectiles négatifs, précipitent les colloïdes positifs.

Une solution d'hydrate de fer soumise à ces radia-

tions a précipité au bout de trois à cinq jours. Une solution négative (argent colloïdal par ex.), n'a donné aucun résultat.

Conclusions

L'étude physiologique que nous venons de faire du radium montre l'énergie de cet agent, hier encore inconnu, sur la matière et sur les organismes vivants. Aidé par les travaux déjà nombreux qui ont paru sur la question, nous pensons avoir pu mettre en lumière quelques-unes de ses propriétés. L'avenir nous réservera encore bien des surprises et peut-être assistons-nous aux premières manifestations d'une force capable de transformer aussi bien l'industrie que la thérapeutique. Qui aurait pu prévoir que les modestes expériences de GALVANI et de VOLTA allaient révolutionner le monde moderne ? Et qui se serait douté, en posant sur l'extrémité de la langue les deux pôles de la première pile, qu'un jour viendrait où de puissants alternateurs transformeraient en fluide électrique des milliers de chevaux-vapeurs ?

DUCHENNE DE BOULOGNE mettait au service des malades l'énergie nouvelle et créait l'électrothérapie riche aujourd'hui en succès de tous genres ; la *radium-thérapie* naissante, que nous exposerons dans la troisième partie de cet ouvrage, légitime déjà les plus belles espérances.

Et pour terminer, nous indiquerons le résultat de recherches très récentes qui montreront toute l'importance de la radioactivité sur la vie. L'*air* et le *sol* sont

radioactifs et nous vivons au milieu de leur rayonnement qui nous pénètre de toutes parts.

ELSTER et GEITEL ont démontré qu'après chaque baisse barométrique l'air qui s'échappe de tous les points du sol par suite de cette aspiration est actif et d'autant plus que le terrain est plus argileux. Or SAAKE (599) en étudiant à ce point de vue le degré d'activité de l'air de la montagne et de la vallée, a trouvé qu'aux hautes altitudes et spécialement dans les défilés l'air est trois à cinq fois plus riche en substances radioactives que dans la plaine. Comme nous savons que les rayons de Becquerel, outre leurs effets destructifs et inhibiteurs peuvent, à faible dose, produire une action excitatrice sur les tissus et les fonctions vitales, on peut penser que l'influence favorable exercée sur l'organisme par le séjour à de hautes altitudes est due en partie à la richesse considérable de l'air en substances radioactives. C'est, du reste, l'avis de SAAKE et nous ajouterons qu'on fait ainsi une double cure : cure d'inhalation et cure d'exposition ; c'est la santé par le radium.

On peut encore augmenter la pénétration de l'organisme par l'ingestion d'eaux minérales qui sont assez souvent radioactives. MM. BOUCHARD et TROOST ont signalé la présence de l'hélium dans certaines eaux pyrénéennes (Cauterets) ; MM. CURIE et LABORDE (577) annoncent maintenant que les gaz provenant de diverses sources (Badgastein en Autriche, Plombières et sources des Vosges en France) sont fortement actifs (1). Ils remarquent que ces sources sont juste-

(1) ELSTER et GEITEL ont même retiré il y a quelques semaines un

ment classées parmi celles dont la composition chimique indéterminée ne permet pas d'expliquer les propriétés thérapeutiques. Il y a lieu de se demander dès lors si la radio-activité ne pourrait pas donner la raison de leur action spéciale.

Un argument en faveur de cette thèse serait cette constatation si souvent faite par des maîtres éminents et que nous entendions récemment encore dans la bouche de M. le Professeur TEISSIER, de Lyon, que certaines eaux minérales perdent avec le temps leurs propriétés. L'émanation disparue, il ne reste que l'eau, véhicule, substratum inerte, corps naguère bien vivant dont l'âme insaisissable s'est envolée vers les cieux.

Que peuvent sur nous ces radiations du sol, d'où l'air et l'eau tirent des provisions d'une énergie toute spéciale ; quelle influence ces agents normaux peuvent-ils avoir au point de vue physiologique et thérapeutique ? Nous ne le savons pas encore. C'est le secret de demain.

sulfate de baryum fortement radioactif de la boue d'une source thermale près de Battaglia (Haute Italie).

CHAPITRE XV

Action physiologique des rayons de Blondlot

Les rayons N produisent des effets indiscutables sur la substance vivante et pour les esprits sceptiques, c'est là la meilleure preuve de leur existence. On peut ne pas voir des radiations très faibles, mais si l'on parvient à mettre en évidence d'une *façon objective* leurs propriétés, leur influence, il n'y a plus qu'à s'incliner.

L'étude physiologique des rayons N est trop récente pour être complète. Nous résumerons rapidement ce qui a été publié à ce sujet.

1. Action sur les ferments solubles

Les expériences de MM. LAMBERT et Ed. MEYER (de Nancy) ont porté sur l'amylase, la salive et l'invertine. Ils ont placé huit ballons pendant une heure à l'étuve à 42°. Chaque ballon renfermait 40 centimètres cubes

de solution d'amidon soluble à 4 p. 100 et un centimètre cube de salive mixte fraîche filtrée. Deux recevaient la lumière du jour et les rayons N éventuels (ballons dans l'eau salée), deux la lumière sans rayons N (ballons dans l'eau pure), deux autres recevaient la lumière sans rayons N éventuels, mais étaient placés sur des ressorts d'acier émettant des rayons N. Les six premiers ballons renfermaient à la fin de l'expérience une quantité de sucre réducteur correspondant à 0 gr. 463 de glucose, les deux derniers à 0 gr. 459.

L'expérience, plusieurs fois répétée, a donné des résultats de même sens. Les rayons N ralentissent donc l'action des ferments, mais cette action est excessivement faible (611).

RICHTER a étudié l'action des rayons N sur la fermentation lactique et a constaté qu'au début de l'expérience l'acidité augmente plus vite dans les ampoules soumises aux radiations, tandis que six à huit heures après c'est le contraire qui se produit. Mais ces recherches sont très délicates et l'action des rayons N demande à être isolée avec soin de toute autre action.

M. LAMBERT et Ed. MEYER ont observé que l'action des ferments solubles était ralentie dans des ballons que l'on avait préalablement insolés. Il y a lieu de rapprocher de ces faits ceux que M. Duclaux (331, p. 222) a notés depuis longtemps, à savoir qu'à l'action ralentissante de la lumière vient s'ajouter *l'emmagasinement de cette action dans des vases insolés.*

2. Action sur les végétaux

MM. LAMBERT et Ed. MEYER (611) ont fait également des recherches sur la croissance du *cresson alénois*. Ils ont constaté, qu'à l'intensité près, les rayons N semblent agir sur les tissus végétaux comme la lumière, c'est-à-dire qu'ils *diminuent* leur activité protoplasmique. Cependant ces phénomènes sont fugitifs et ne s'observent qu'à un certain stade de croissance.

M. H. BORDIER (605), dans des expériences faites au Laboratoire de physique biologique de la Faculté de médecine de Lyon, est arrivé à des résultats analogues. *Dans les premiers jours de la croissance* du *ray-grass* les rayons N ont eu une action retardante sur l'activité du protoplasma des cellules végétales. Mais cette action n'a été que *passagère* et ce n'est que pendant une phase seulement de la croissance des végétaux que se manifeste l'action retardante des rayons N.

3. Action sur l'homme

M. BLONDLOT (240, 604) a remarqué, peu après la découverte des rayons N, que ces radiations peuvent augmenter l'acuité visuelle. « Si l'on regarde un objet dans une demi-obscurité, de telle sorte qu'on n'en distingue que très vaguement les détails, puis qu'on vienne à diriger sur le globe de l'œil un faisceau de rayons N, on constate que la clarté de l'objet devient plus grande. » M. BLONDLOT a fait l'expérience avec

un cadran d'horloge assez peu éclairé pour ne plus apparaître que comme une tache grisâtre. En approchant de l'œil une brique insolée (source de rayons N) il put distinguer les aiguilles et d'autres détails. Il obtint le même résultat en courbant une canne devant l'œil (244).

M. CHARPENTIER a vérifié ce fait pour les radiations N conduites par un fil de métal. Il a observé aussi que lorsqu'on fait agir les rayons N sur le centre cilio-spinal de la moelle, au-dessous de la septième vertèbre cervicale, il se produit une dilatation pupillaire assez sensible (606).

Les sens de l'odorat, du goût et de l'ouïe deviennent plus sensibles aux excitations de très faible intensité lorsqu'ils sont influencés par les rayons N (607, 608).

Par contre, les rayons N_1 ont sur le système nerveux un effet inverse des rayons N. Ils diminuent par exemple la sensibilité olfactive quand on les fait agir, soit sur l'organe périphérique, soit sur le système nerveux central (609).

Mais, comme le fait remarquer très justement M. GUILLEMINOT (261, p. 410), toutes les expériences que nous venons de rapporter « sont d'une observation très délicate. Il y a dans leur étude un facteur subjectif qui laisse encore beaucoup de vague dans la question. » Pour nous, nous tenions seulement à indiquer les résultats obtenus en attendant que de nouvelles recherches, absolument nécessaires, nous fixent sur la valeur des expériences précédentes.

*
* *

Et maintenant que nous sommes arrivés au terme de cet ouvrage, que nous avons mis en lumière les radiations où va puiser la thérapeutique de l'avenir, nous croyons avoir fait *œuvre utile* et *œuvre de médecin*.

Le 28 février dernier, M. le Professeur BOUCHARD, terminant une éloquente causerie, disait :

« Chercher la vérité ;

« Découvrir les causes ;

« Savoir comment elles troublent la vie et comment l'ordre se rétablit ;

« Par la science et la persuasion, préserver les hommes ;

« Par la science, la douceur et la fermeté, combattre la mort et la souffrance ;

« Guider, encourager, consoler dans un esprit paternel et tolérant ;

« C'EST LA MÉDECINE. »

Je n'ajouterai qu'un mot à cette définition si belle, si noble et si haute. La Médecine, c'est encore l'*espérance* pour ceux qui sont atteints de maux terribles réputés incurables. Pénétré de cette pensée de FEUCHTERSLEBEN (612 bis) que le malade attend du médecin, alors même qu'il se sait dangereusement touché et qu'il ne croit plus la guérison possible, un peu d'*espérance*, de *foi*, de *réconfort*, j'ai voulu appuyer sur des bases scientifiques une thérapeutique pleine de promesses. Et j'ai la certitude que demain changera cet espoir en une consolante réalité.

CONCLUSIONS

1. De toutes les énergies qui agissent sur notre globe et y rendent la vie possible, la *Lumière* est de beaucoup la plus importante.

2. Cependant les ondulations lumineuses ne forment pas une catégorie spéciale distincte des vibrations calorifiques, chimiques, électriques. Un lien étroit réunit toutes ces ondulations de l'éther. Ce ne sont que des modalités de l'énergie et la gloire du XIX^e siècle a été de montrer *l'unité dans la pluralité* de toutes ces forces physiques.

3. La portion du spectre solaire comprise entre $0\mu,4$ et $0\mu,8$ ne forme qu'une bien petite région, seulement visible pour notre œil. Mais d'autres réactifs (appareils thermo-électriques, substances lumineuses, préparations photographiques) nous révèlent aux deux extrémités du spectre des rayons invisibles infra-rouges et ultra-violets.

4. Les rayons de Röntgen et les rayons de Becquerel, de découverte récente, viennent prendre place au-delà de l'ultra-violet. Ils mettent à la disposition du médecin des énergies nouvelles très puissantes.

5. L'application thérapeutique de toutes ces radiations doit être faite à l'aide d'appareils étudiés avec le plus grand soin, si l'on ne veut pas faire fausse route et remplacer la science par l'empirisme. Les physiciens biologistes ont le devoir de signaler les dispositifs les meilleurs et de rechercher les conditions les plus favorables pour un rendement maximum en radiations efficaces.

6. Afin de pouvoir comparer entre eux les appareils comme les résultats thérapeutiques, il est de toute nécessité de procéder à des *mesures* aussi précises que possible *de l'agent actif* dans toutes les branches de la photothérapie (actinothérapie, radiothérapie et radiumthérapie).

7. Les *propriétés* des radiations spectrales *varient* beaucoup suivant leur *longueur d'onde*. Plus elle est petite, plus les rayons sont actifs sur le bioprotéon. C'est le cas des rayons violets ou ultra-violets (*rayons actiniques*). Si leur action est courte et pas trop intense, elle peut accélérer les phénomènes vitaux, devenir excitante et bienfaisante ; si leur intensité est plus forte, on voit le bioprotéon essayer de se défendre contre cette action nocive (pigmentation). Si l'intensité est trop forte, les phénomènes bactéricides et inflammatoires se manifestent. Ces faits montrent l'utilité de mesures rigoureuses.

8. Les *rayons de Röntgen* et les *rayons du radium* ont une action comparable à celle des rayons ultra-violet, mais tandis qu'avec les premiers la réaction inflammatoire suivait de très près l'action des radiations, il y a, après l'action des rayons X et des rayons du radium, un *stade de latence, d'incubation* qui peut varier de quelques jours à deux semaines. Ce retard entre l'effet et la cause est *caractéristique*.

9. L'action des radiations émanées d'un tube de Crookes semble due exclusivement aux rayons X. Le degré des réactions cutanées dépend essentiellement de la *quantité* des radiations absorbées par les tissus (*loi de Kienböck*). Cette loi semble s'appliquer également aux rayons émis par le radium.

10. Les rayons de Röntgen, comme ceux du radium, semblent avoir une *action élective* sur les *tissus jeunes* (épiderme par exemple) dont la prolifération est très active. On a pu, en effet, sur des oreilles de lapin, observer des lésions à l'entrée et à la sortie des rayons tandis que les tissus intermédiaires restaient intacts.

11. L'action des rayons X sur les microbes semble exiger des doses plus fortes que celles qui amènent les réactions destructives de la peau.

12. Pour éviter des accidents personnels, le médecin qui se sert des rayons X doit se protéger avec soin contre leur action qui peut devenir nocive avec le temps. Il doit veiller aussi à ne pas faire absorber à la peau de ses malades une quantité de radiations capable de provoquer des accidents.

13. Ce n'est qu'avec des *mesures précises* jointes à une *grande prudence* que la radiothérapie et la radium-thérapie pourront justifier les espérances qu'elles ont fait naître. Tous les efforts des physiciens biologistes doivent tendre à rendre cette branche de la thérapeutique de plus en plus scientifique.

VU :

Le Président de Thèse,

F. MONOYER.

VU :

Le Doyen,

L. LORTET.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Lyon, le 4 juillet 1904.

Le Recteur, Président du Conseil de l'Université,

G. COMPAYRÉ.

BIBLIOGRAPHIE

Abréviations employées à propos des ouvrages cités

- A. C. P. — Annales de Chimie et de Physique, Paris.
A. E. M. — Archives d'Electricité médicale, Bordeaux.
A. F. A. S. — Comptes rendus de l'Association française
pour l'avancement des Sciences, Paris.
C. R. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences,
Paris.
D. M. W. — Deutsche Medizinische Wochenschrift.
J. P. — Journal de Physique, Paris.
M. M. W. — Münchener Medizinische Wochenschrift.
P. R. S. — Proceedings of the Royal Society, London.
S. A. W. B. — Sitzungsberichte der Akademie der Wis-
senchaften, zu Berlin.
S. M. — Semaine Médicale, Paris.
W. Ann. — Wiedemann's Annalen der Physik, Berlin.
-

PARTIE PHYSIQUE

I. Lumière solaire et lumière électrique. — Généralités.

Appareillage. — Mesures.

1. ABADIE. — Des propriétés physiques, biologiques et thérapeutiques de la lumière. (Thèse de Paris 1904.)
2. ABNEY (W.). — Photographies de l'infra-rouge du spectre au moyen d'émulsions spéciales de gélatino-bromure d'argent. (Sillimann's American Journal, 1883 ; t. 27, p. 15, et Journal de Physique, 2^e série, t. III, p. 48.)
- 2^{bis}. ABNEY et FESTING. — Etude du spectre d'absorption à l'aide d'une solution d'iode dans le sulfure de carbone. (P. R. S., t. 34, p. 480, 1883.)
3. ANGO (Le Père). — Optique. (Paris, 1682.)
4. ANGSTRÖM. — Recherches sur le spectre solaire en Suède, 1869.
5. BANG (S.). — Eine Lampe für Lichttherapie nach einen neuen Prinzip. (Arch. f. Lichttherapie. Oct. 1901, p. 1.)
6. BANG (S.). — Weitere Versuche mit Eisenelektroden. (D. M. W., 1902, n° 2.)
7. BANG (S.). — Eine therapeutische Handlampe mit gekühlten Eisenelektroden. (Ztsch. f. diätet. u. physik. Therapeut., Leipsig, 1902, t. v, p. 546-549.)
8. BARNARD (J.-E.) et MORGAN (H. de R.). — The physikal factors in phototherapy. (Brit. Med. Journ., 14 nov. 1903.)
9. BECK (C.). — Zum Selbstschutz bei der Röntgenuntersuchung. (Berlin. Klin. Wochensch, 10 août 1903.)

10. BECQUEREL (E.). — La lumière, ses causes, ses effets, Paris, 1868.
11. BECQUEREL (E.). — Effets électrochimiques produits sous l'influence de la lumière. (C. R., t. 32, p. 83.)
12. BECQUEREL (E.). — Réfrangibilité des rayons qui excitent la phosphorescence. (C. R., t. 69, p. 994.)
13. BECQUEREL (E.). — Sur les actions chimiques produites au moyen des décharges d'un appareil d'induction. (C. R., t. 82, p. 353.)
14. BECQUEREL (E.). — Sur l'observation de la partie infra-rouge du spectre au moyen des effets de phosphorescence. (C. R., t. 83, p. 249 et 1884, t. 99, p. 417.)
15. BECQUEREL (E.). — Procédé pour rendre visibles les bandes sans chaleur du spectre infra-rouge. (J. P., 1^{re} série, t. VI, p. 137.)
16. BECQUEREL (E.). — Recherches sur la phosphorescence. (A. C. P., 3^e série, t. LV, p. 5 ; t. LVII, p. 40 ; t. LXII, p. 5, 1859 à 1861.)
17. BELLINI (A.). — Un nuovo apparecchio per la cura del Lupus colla luce chimica concentrata. (Comunicaz. al Congresso di Varese, sett. 1901. — Bollett. della Poliambul. di Milano, 1901, p. 247.)
18. BIOT. — Traité de physique mathématique et expérimentale, Paris 1816.
19. BORDIER (H.). — De la forme à donner aux excitateurs électriques pour l'aigrette et le souffle. (C. R., déc. 1895.)
- 19^{bis}. BORDIER (H.). — Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences (Ajaccio, 1901.)
20. BORDIER (H.) et NOGIER (Th.). — Mesure du pouvoir actinique des sources employées en photothérapie. (A. F. A. S., 1901, Montauban, p. 345 ; A. E. M. 1903, XI, 1-6.)

21. BREWSTER. — Etude des raies telluriques du spectre. (Transact. philos. d'Edimbourg, 1833.)
22. BREWSTER. — Etudes sur la fluorescence. (Philosoph. Magazine, 1848. — A. C. P., 3^e série, t. 38, p. 376.)
23. BRIDON (E.). — Sur quelques phénomènes de fluorescence d'origine mécanique et chimique. (Thèse de doct. en pharm., Lyon, 1903.)
24. BROCA (A.) et CHATIN (A.). — Emploi de l'arc électrique de fer en photothérapie. (C. R., 1902, t. 134, p. 562.)
25. BUNSEN et ROSCOE. — Etude de l'absorption des rayons chimiques. — Pogg. Ann., t. 96, p. 373; t. 100, p. 43 et 481; t. 101, p. 235; t. 108, p. 193; t. 97, p. 529. — A. C. P., 3^e série, t. LV, p. 352, 1859.)
26. BUSCK (G.). — Einige Bemerkungen über photometrische Methoden zur Beurtheilung in der Lichttherapie benutzten Lampen. (D. M. W., 3 déc. 1903.)
27. CASCARIOLO (V.). — Découverte de la phosphorescence des coquilles calcinées (1604). (Collection acad., partie étrangère, t. IV.)
28. CHARDONNET (De). — Transparence actinique de l'argent. (J. P., 1^{re} série, t. I, p. 305, 1882.)
29. CHARDONNET (De). — Absorption des rayons ultra-violet par les milieux de l'œil. (J. P., 2^e série, t. II, p. 219; 1883.)
30. CLAUDET. — Description d'un appareil destiné à mesurer l'intensité des rayons chimiques de la lumière. (C. R., t. 27, p. 370.)
31. CORNU (A.). — Sur la limite ultra-violette du spectre solaire. (C. R., t. 88, p. 1101.)
- 31^{bis}. CORNU (A.). — Sur l'absorption par l'atmosphère des radiations ultra-violettes. (C. R., t. 88, p. 1285.)

- 31^{ter}. CORNU (A.). — Observation de la limite ultra-violet du spectre solaire à diverses altitudes. (C. R., t. 89, p. 808.)
32. CORNU (A.). — Recherches sur le spectre ultra-violet (Annales de l'Ecole Normale, 2^e série, t. III, p. 421 et t. IX; 1874-1880.)
33. CORNU (A.). — Sur l'absorption atmosphérique des radiations ultra-violettes. (J.-P., 1^{re} série, t. x, p. 5, 1881.)
34. CORNU (A.). — Procédé pour étudier les raies telluriques du spectre. (J. P., 2^e série, t. II, p. 58, 1883; 3^e série, t. III, p. 109, 1884.)
35. CRESTIN (F.). — L'intensité actinique de la lumière à Saint-Pétersbourg. (Photo-Revue, 24 mars 1901, Paris.)
36. DÉCOMBE (L.). — La célérité des ébranlements de l'éther. (Collect. Scientia, n° 9; 96 p.)
37. DESAINS. — Sur l'existence de plusieurs maxima et minima dans l'infra-rouge du spectre. (J. P., 1^{re} série, t. I, p. 335, 1882.)
38. DESCARTES. — Traité de la lumière. 1690, Leyde.
39. DRAPER (J. W.). — Sur la décomposition du gaz CO² et sur celle des carbonates alcalins par la lumière du soleil. (Ann. de Phys. et de Chimie, 3^e série, n° 44.)
40. EGOROFF (N.). — Electro-actinomètre différentiel. (C.R. t. 72, p. 1435.)
41. EGOROFF (N.). — La vapeur d'eau comme cause de production des raies telluriques du groupe α . (C. R., t. 93, p. 385, 1881; t. 97, p. 555, 1883.)
42. FABRY (Ch.). — Sur l'intensité de l'éclairement produit par le soleil. (C. R., 1903, t. 137, p. 973.)

43. FERNET. — Sur les phénomènes lumineux produits par les courants d'induction. (C. R., t. 68, p. 1550.)
44. FINSSEN. — Bemerkungen betreffend die Lampe « Dermol ». (D. M. W., 1902, n° 2.)
45. FIZEAU et FOUCAULT. — Sur l'existence de bandes sans chaleur dans le spectre infra-rouge. (C. R., 1847, t. 25, p. 447.)
46. FOVEAU DE COURMELLES. — Des connaissances physiques en photothérapie. (Rev. intern. de thérapie phys., 1^{er} mai 1902.)
47. FRESNEL. — Mémoires sur la diffraction adressés à l'Académie des Sciences. 1^{er}, le 15 octobre 1815; 2^e, le 23 oct. 1815; 3^e, le 15 juillet 1816, et 4^e, 1819 (couronné par l'Académie).
48. FRESNEL. — Œuvres complètes publiées par Sénarmont, Verdet et Léonor Fresnel, 3 vol. in-4^e, Paris, 1866-1870.
49. GAIFFÉ. — Sur la production des décharges électriques sous forme d'aigrettes, au moyen de la machine de Holtz. (C. R., t. 67, p. 1004.)
50. GARAHM (G. H.). — The new Finsen-Reyn lamp (Lancet, Londres, 1903, I, 449.)
51. GAUTIER (G.). — Etuve électrique pour bains de lumière blanche et colorée. (Rev. intern. d'électr. et radioth., Paris, 1900, xx, 245-247.)
- 51^{bis}. GUIMBAIL. — La thérapeutique par les agents physiques, Paris, 1900.
52. HERSCHEL (W.). — Spectre solaire calorifique. (Transact. philos., 1900.)
53. HERSCHEL (W.). — Prolongation du spectre sur le curcuma. (Trans. philos., 1845, p. 143. — A. C. P., 3^e série, t. 38, p. 378, 1853.)

54. HERTZ (H.). — Relations entre la lumière et les phénomènes électriques. (W. Ann., 1887-1888.)
55. HIMSTEDT et NAGEL. — Annalen der Physik, 1901, t. IV p. 531 et 537.
56. HIRN. — Actinomètre totalisateur absolu. (C. R., 1884, 11 févr.)
57. HOPPE-SEYLER. — Physiologische Chemie, 1881.
58. HUMPHREYS. — Modification de la longueur des étincelles par les isolants solides. (J. P., déc. 1900 et A. E. M., 1901, p. 113.)
59. HUYGHENS. — Traité de la lumière, 1690.
60. JAMIN et BOUTY. — Cours de physique de l'Ecole polytechnique, 1887.
61. JAMIN et ROGER. — Sur la lumière de la machine magnéto-électrique. (C. R., t. 66, p. 37.)
62. JANSSEN. — Etude des raies telluriques du spectre solaire. (A. C. P., 4^e série, t. XXIII, p. 274; t. XXIV, p. 215, 1871.)
63. J. B. — Nouvelle lampe à arc, avec électrodes en fer, destinée à la photothérapie. (A. E. M., 1902, x, 172-175.)
64. KOCHAN. — Contribution à l'étude de l'électrode photoélectrique en or à polarisation anodique. (Eclair. électrique, n° 9, du 28 févr, 1903, p. 332.)
65. LAMANSKY. — Présence de plusieurs maxima et minima dans l'infra-rouge. (Ann. de Poggendorff, 1872, t. 146, p. 200.)
66. LANGLEY. — Bolomètre pour l'étude du spectre. (Silliman's American Journal, t. 21, p. 187. — J. P., 2^e série, t. I, p. 148, 1882.)
67. LANGLEY. — Observations on invisible heat spectra and the recognition of hitherto unmeasured wavelengths. (Phil. Mag., 5^e série, t. XXI, p. 394, 1885. — J. P., 2^e série, t. V, p. 377.)

68. LEBON. — Nouvelle lampe à arc avec électrodes en fer destinée à la photothérapie. (Ann. de therap. dermat. et syph., Paris, 1903, III, 1-6.)
69. LEDUC. — Rayons émis par une pointe électrisée. (C. R., 1899, t. 128, p. 1448. — A. F. A. S., Boulogne, t. I, p. 409.)
70. LEDUC. — Pour obtenir des rayons de courtes longueurs d'onde, on peut utiliser l'effluve électrique, source intense de rayons violets et ultra-violets. (C. R., 4 mars 1901. — A. E. M., 1901, p. 380.)
71. LEDUC. — Emploi du vide de Geissler pour la production des rayons chimiques. (Rev. intern. d'électroth., Paris, 1902, XII, 33-37.)
- 71^{bis}. LEREDDE et PAUTRIER. — Photothérapie et Photobiologie. C. Naud, Paris.
72. MACH (L.) et SCHUMANN (V.). — Ein neues Spiegelmetall. (Sitzungsb. d. K. Akad. d. Wissensch., Wien, 1899.)
73. MARCHAND (E.). — Mesure de l'action chimique produite par la lumière solaire. (C. R., t. 76, p. 762.)
74. MARCHAND (E.). — Etude sur la force chimique contenue dans la lumière du soleil, la mesure de sa puissance et la détermination des climats qu'elle caractérise. (Paris, 1876. Gauthier-Villars.)
75. MARIE (T.). — Lumière électrique sans chaleur par la lampe Tesla. (A. E. M., 15 nov. 1901.)
- 75^{bis}. MARIE (T.). — Quelques remarques pratiques sur l'emploi de l'arc électrique en photothérapie. (A. E. M., x, 321-330.)
76. MARIE (T.). — Nouvel appareil de photothérapie. (A. E. M., 1903, p. 505.)
77. MARIE (T.). — Nouvel appareil photothérapique à arc électrique. (A. E. M., 1904, p. 94, p. 139 et 168.)

78. MARIE (T.). — Appareil photothérapique pour courant alternatif. (A. E. M., 1904, p. 417.)
79. MARIOTTE. — Traité des couleurs.
80. MASCART. — Recherches sur le spectre ultra-violet (C. R., t. 57, p. 789 et t. 58, p. 444).
81. MASCART. — Sur les spectres ultra-violet (C. R., t. 69, p. 337).
82. MASCART. — Raies d'émission ultra-violettes des métaux (Ann. de l'Ec. Normale, 1^{re} série, t. IV, p. 7).
83. MELLONI. — Diathermanéité du sel gemme (Ann. de Pogg., t. 35, p. 412, 277, 385, 530).
84. MINCHIN. — Actinomètre pour photométrie stellaire (Nature, t. 48, p. 70).
85. MOITESSIER. — La lumière (Bibliothèque des Merveilles Paris, 1876).
86. MURANI. — Luce e Raggi Röntgen, Milano, 1898.
87. MYGGE (J.). — Om bestemmelsen af de aktiniske stråler i dagslyset (Ugeskrift for Læger, 2 oct. 1903).
88. NEWTON. — Traité sur l'optique (1704).
89. PAULSEN (A.).—Om maaling of dagslyset ad fotografisk vej og om Dr. med. Mygge's artikel angaaende bestemmelsen af de aktiniske stråler i dagslyset (Ugeskrift for Læger, 18 déc. 1903).
90. PEARSEAL.— Phosphorescence du fluorure de calcium sous la double influence de la lumière et des décharges électriques (A. C. P., 2^e série, t. 49, p. 337 et 346).
91. POEY. — Sur l'action chimique de la lumière diffuse observée à la Havane à l'aide d'un nouvel actinographe chimique (C. R., t. 56, p. 1039).
92. POINCARÉ. — La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes (Coll. Scientia, n° 4, 80 p.).

93. RADAU. — Résumé des travaux de Bunsen et Roscoe sur l'actinomètre à chlore et à hydrogène (*Moniteur scientifique*, 1863).
94. RADAU. — Résultats obtenus par Bunsen et Roscoe à l'aide de leur actinomètre photographique (*Moniteur scientifique*, 1866 et 1874).
95. RADAU. — Actinométrie, Paris, Gauthier-Villars, 1877.
96. RADAU. — Les radiations chimiques du soleil, Paris, Gauthier-Villars, 1877.
97. RADAU. — La lumière et les climats, Paris, Gauthier-Villars, 1877.
98. RIGOLLOT (H.). — Recherches expérimentales sur quelques actinomètres électro-chimiques, Paris, Masson, 1897.
99. SCHALL (H.). — Lampe à arc pour la photothérapie (*A. E. M.*, 1901, p. 551).
100. SCHEELE. — Action de la partie violette du spectre sur le chlorure d'argent (*Chemische Abhandlungen von Luft und Feuer*, 1781).
101. SECCHI (Le Père). — Le Soleil.
102. SELMI et PIACENTINI. — Centralblatt, 1872.
103. SORET (J.-L.). — Sur la transparence des milieux de l'œil pour les rayons ultra-violets (*C. R.*, t. 88, p. 4012).
104. SORET (J.-L.). — Oculaire pour l'étude du spectre ultra-violet (*Arch. des sc. phys. et nat.*, avril 1874).
105. SORET (J.-L.). — Recherches sur l'absorption des rayons ultra-violets, 1^{er}, 2^e, 3^e, 4^e et 5^e Mémoires (*Arch. des Sc. phys. et nat.*, 2^e période, t. LXI, LXII; 3^e période, t. IV, IX, X; 1878-1883).
106. STOKES. — Recherches sur la phosphorescence et la fluorescence (*Trans. philos.* 1852, p. 463; 1853, p. 385. — *A. C. P.*, 1853-1856; 3^e série, t. 38, p. 491; t. 39, p. 253; t. 46, p. 380.).

107. STREBEL (A.). — Réclamation sur la priorité de l'arc au fer (D. M. V. 1901, n° 44).
108. STREBEL (A.). — Die Brauchbarkeit des Induktionsfunkenlichtes in der Therapie (Arch. f. Lichttherapie, 1902, p. 120).
109. STREBEL (A.). — Fortschritte in der Lichttherapie (Wien. med. Presse, 11 oct. 1903).
110. TAYLOR. — A new form of Finsen lamp (Lancet, Londres, 1903, 1, p. 531).
111. TYNDALL (J.). — La lumière, Paris, Gauthier-Villars, 1889.
112. VERDET. — Leçons d'optique physique.
113. WERTHER. — Über die Lichtbehandlung des Lupus der Finsen Reyn'schen Lampe und die verwandten, physikalischen Methoden (M. M. W., 24 nov. 1903).
114. WOLLASTON. — Noircissement du chlorure d'argent dans l'ultra-violet du spectre (Transact. philos., 1802).
115. YOUNG. — On the theory of light and colours (Phil. Transact., 1802).
116. ZIEGELROTH. — Die elektrische Belichtung bei Lupus (Blätt. f. klin. Hydrotherap., 1895).

*
* *

2. Rayons de Röntgen.

117. BÉCLÈRE (A.). — La mesure indirecte du pouvoir de pénétration des rayons de Röntgen à l'aide du spintermètre (A. E. M., n° 88, 15 avril 1900)

118. BÉCLÈRE (A.). — Les mesures exactes en radiothérapie; 1^{re} communication (Soc. de dermat. et de syphil., 9 janv. 1902).
- 118^{bis}. BÉCLÈRE (A.). — Les mesures exactes en radiothérapie; 2^e communication (Soc. de dermat. et de syphil., 6 nov. 1902).
119. BÉCLÈRE (A.). — Le dosage et sa représentation graphique en radiothérapie (A. E. M., 1904, p. 323).
120. BELOT. — Appareil porte-ampoule pour radiothérapie localisateur (A. E. M. 1904, p. 455).
121. BENOIST (L.). — Lois de transparence de la matière pour les rayons X (C. R., 1897, 18 janv. — C. R., 1901, t. 132, p. 324, 545, 772).
122. BENOIST (L.). — Transparence de la matière pour les rayons X (Soc. fr. de phys., 5 juillet 1901).
123. BENOIST (L.). — Lois de transparence de la matière pour les rayons X (J. P., nov. 1901).
124. BENOIST (L.). — Définition expérimentale des diverses sortes de rayons X par le radiochromomètre (C. R., 1902, t. 134, p. 225).
125. BIRKELAND. — Concentration des rayons cathodiques dans un champ magnétique (Arch. de Genève, 4^e période, t. 1, p. 497, juin 1896).
126. BIRKELAND. — Hétérogénéité des rayons cathodiques (C. R., 1897, t. 123, p. 492 et 1898, t. 126, p. 1898).
127. BLONDLOT (R.). — Sur la vitesse de propagation des rayons X (C. R. 1902, t. 135, p. 666, 721, 763, 1293).
128. BORDIER (H.). — Radiations produites par les décharges électriques dans les gaz raréfiés (Leçon autographiée, Lyon, 1898).
129. BORDIER (H.). — Sur le meilleur dispositif à adopter pour obtenir des rayons X avec une machine statique (A. E. M., mars 1898).

130. BORDIER et SALVADOR. — De la part qui revient aux actions électrolytiques dans les accidents cutanés produits par les rayons X (C.R., 18 et 25 juin 1899).
131. BORDIER (H.). — Précis d'électrothérapie, 2^e édition, Paris, Baillière, 1902, 516 pages.
132. BORGMANN et GERSCHUN. — Intervalle entre deux conducteurs rendu moins résistant par les rayons X (C. R., t. 122, p. 378).
- 132^{bis}. BOUCHARD. — Traité de radiologie médicale, Paris, Steinheil, 1904).
133. BRUNHES (M.). — Sur la durée d'émission des rayons de Röntgen (C. R., 9 avril 1900).
134. CALDWELL (E.-W.). — Tube de Crookes spécial pour applications radiothérapiques au cancer du col de l'utérus (New-York med. journ., 22 nov. 1902).
- 134^{bis}. CONTREMOULINS (G.). — Recherche d'une unité de mesure pour la force de pénétration des rayons X et pour leur quantité (C. R., 1902, t. 134, p. 649).
135. CROOKES (W.). — Les théories modernes de la matière (Eclair. électrique, 10 oct. 1903. — A. E. M., 1904, p. 114).
136. CURIE (P.) et SAGNAC (G.). — Les rayons X ne sont pas électrisés (C. R., 1900, t. 130, p. 1013).
137. DORN. — Action calorifique des rayons X (W. Ann. 1897, t. 73, p. 160).
138. DUHEM (P.). — Sur l'analogie entre les rayons X et les ondulations hertziennes (C. R., 1902, t. 135, p. 845).
139. EBERT. — Déviation électrostatique des rayons cathodiques (W. Ann., 1897, t. 64, p. 240).
140. ELSTER (J.) et GEITEL (H.). — Photo-activité des sels colorés par les rayons cathodiques (W. Ann., 1896, t. 59, p. 487).

141. FOVEAU DE COURMELLES. — II^e Congrès international d'électrothérapie et de radiologie médicale. — Berne, sept. 1902).
142. FREUND (L.). — Nouveau procédé radiométrique (Soc. de médecins de Vienne, séance du 8 avril 1904).
143. GAIFFE. — Nouveau milliampèremètre pour tube de Crookes (A. E. M., 1904, p. 345).
144. GOLDSTEIN. — Action d'un champ électrique sur les rayons cathodiques (Monatsh. der. Ak. d. Wiss. zu Berlin, 1876, p. 279).
145. GOLDSTEIN. — Kanalstrahlen (S. A. W. B., 1886, p. 691. — W. Ann., t. 64, p. 38).
146. GOLDSTEIN. — Action des rayons cathodiques sur les sels haloïdes alcalins (S. A. W. B., 1894, p. 937 et 1896, p. 1017. — W. Ann., 1895, t. 54, p. 371 et 1897, t. 60, p. 491).
147. GOUY. — Etudes sur la longueur d'onde et la diffraction des rayons X (C. R., 1896, t. 123, p. 43).
148. HOLTZKNECHT (G.). — Sur la production des couleurs à l'aide des rayons de Röntgen (Soc. all. de phys., 24 janv. 1902).
149. HOLTZKNECHT (G.). — Méthode nouvelle et simple de dosage en radiothérapie : le chromoradiomètre (2^e congrès intern. d'Electrol. et de radiol. médicales. — Berne, 4 sept. 1902. — Wiener klin. Rundschau, 1902, n° 35).
150. HUGUIER (H.). — Sur les mesures exactes en radiothérapie (Thèse de Paris, 4 mars 1903).
151. IMBERT (A.) et BERTIN-SANS (H.). — Photomètre pour rayons X; évaluation du temps de pose en radiographie (A. E. M., février 1898).
152. KAUFMANN et ASCHKINASS. — Déviation des rayons cathodiques dans un champ électrostatique (W. Ann., 1897, t. 62, p. 588).

153. LEDUC (S.). — Les énergies nouvelles et leurs rapports avec la médecine (A. E. M., 1904, p. 330).
154. LEFÈVRE (J.). — Dictionnaire d'électricité. — Paris, 1895.
155. LÉNARD. — Recherches sur les rayons cathodiques (W. Ann., 1889 à 1898, t. 52, 56, 63, 64, 65. — Lum. électr., t. 48 et t. 52. — Eclair. électr., t. 8, 15, 18).
156. LÉVY-DORN. — Comment on peut se protéger contre les accidents causés par les rayons X. Procédés de dosage de ces rayons (D. M. W., 3 déc. 1903).
157. MOISSAN. — Action des rayons cathodiques sur le diamant (C. R., 1897. t. 124, p. 653).
158. OUDIN. — Ampoule de Crookes pour la radiothérapie (C. R., 1903. 23 nov., p. 891).
159. PERRIN (J.). — Electrification des rayons cathodiques (Ann. de chim. et de phys. 1887, 7^e série, t. 11, p. 503. — C. R., 1885, t. 121, p. 1130).
160. POINCARÉ. — Régions neuves de la physique (Revue génér. des sc. pures et appliquées, 15 janvier 1903, p. 29).
161. QUIRINO MAJORANA. — Action d'un champ électrique sur les rayons cathodiques (Acad. dei Lincei, 1897, t. 6, p. 183).
162. ROLLINS (W.). — Notes on the X light (Boston, Med. and Surgery journ., 2 avril 1903).
163. RÖNTGEN (W. C.). — Sur de nouveaux rayons émanés d'un tube de Crookes (rayons X). — (1^{er} Mémoire ; S. A. W. B., déc. 1895 ; 2^e Mémoire : J. P., mars 1896, 3^e série, t. 5, p. 101 et 189 ; 3^e Mémoire : S. A. W. B., 7 mai 1897).
164. SAGNAC (G.). — Rayons secondaires (Soc. franç. de phys., 1898, p. 115).
165. SAGNAC (G.). — De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent (Paris, Gauthier-Villars, 1900).

166. SALVADOR (B.). — Effets pathologiques et thérapeutiques des rayons X sur la peau (Thèse de Lyon, 3 juil. 1899).
167. SEIFERT. — Appareil servant à la mesure du degré de dureté des tubes de Röntgen (Elektrotechn. Rundschau, 1^{er} janv. 1904).
168. SEMENOV (J.). — Sur la nature des rayons X (C. R., 1901, t. 133., p. 217).
169. THOMSON (J.-J.). — Vitesse des rayons cathodiques (Phil. Magazine, 1897, 5^e série, t. 44, p. 293).
170. TOMMASINA (Th.). — Sur le mode de formation des rayons cathodiques et des rayons Röntgen (C. R., 1902, t. 135, p. 319).
171. VILLARD (P.). — Les rayons cathodiques (Coll. Scientia, n° 40, 118 p.).
172. WEHNELT (A.). — Transport de charges positives par les Kanalstrahlen (W. Ann., 1899, t. 67, p. 421).
173. WIECHERT (E.). — Vitesse des rayons cathodiques (W. Ann., 1899, t. 69, p. 739).
174. WIEDEMANN (E.) et SCHMIDT (G.-C.). — Action des rayons cathodiques sur les sels alcalins (W. Ann., 1895, t. 54, p. 264 et 1898, t. 64, p. 78).
175. WIEN (W.). — Vitesse des rayons cathodiques extérieurs (W. Ann., 1898, t. 65 et J. P., t. 7, p. 564).
176. WIEN (W.). — Vitesse des Kanalstrahlen (W. Ann., 1898, t. 65, p. 440).
177. WILLIAMS (E.-G.). — The regulation of the duration of exposure and the distance from the tube in X-ray therapy (Med. News, 26 mars 1904).

*
* *

3. Rayons de Becquerel et radium.

178. BANET-RIVET. — La matière pondérable et sa structure intime (Rev. des Deux-Mondes, 15 janv. 1904).
179. BARKLA. — The energy of secondary Röntgen radiation (Soc. phys. de Londres, 25 mars 1904).
180. BÈCLÈRE. — Le dosage en radiothérapie (A. E. M., 1904, p. 437).
181. BECQUEREL (H.). — Sur la radio-activité secondaire des métaux (C. R., 1901, t. 132, p. 371).
182. BECQUEREL (H.). — Sur la radio-activité secondaire (C. R., 1901, t. 132, p. 732).
- 183 *a*. BECQUEREL (H.). — Sur la déviabilité magnétique et la nature de certains rayons émis par le radium et le polonium (C. R., 1903, t. 136, p. 199).
- 183 *b*. BECQUEREL (H.). — Sur le rayonnement du polonium et du radium (C. R., 1903, t. 136, p. 431).
- 183 *c*. BECQUEREL (H.). — Sur le rayonnement du polonium et sur le rayonnement secondaire qu'il produit (C. R., 1903, t. 136, p. 977).
- 183 *d*. BECQUEREL (H.). — Conductibilité et ionisation résiduelle de la paraffine solide sous l'influence des rayons du radium (C. R., 1903, t. 136, p. 1173).
- 183 *e*. BECQUEREL (H.). — Sur une propriété des rayons α du radium (C. R., 1903, t. 136, p. 1517).
184. BECQUEREL (H.). — Sur la phosphorescence scintillante que présentent certaines substances sous l'action des rayons du radium (C. R., 1903, t. 137, p. 629).

185. BECQUEREL (H.). — Sur quelques effets chimiques produits par le rayonnement du radium (C. R., 1901, t. 133, p. 709).
186. BECQUEREL (H.). — Sur la lumière émise spontanément par certains sels d'uranium (C. R., 1904, t. 138, p. 184).
187. BECQUEREL et CURIE. — (C. R., 1901, t. 132, p. 1289).
188. BERGET (A.). — Le radium et les nouvelles radiations (Librairie Universelle, Paris, 24^e éd.).
189. BERGONIÉ (J.). — Le radium au point de vue médical ; ce qu'on en sait et ce qu'on en ignore (A. E. M., 1904, 25 fév. et 10 mars).
190. BERTHELOT. — Essais sur quelques réactions chimiques déterminées par le radium (C. R., 1901, t. 133, p. 659).
- 190^{bis}. BERTHELOT. — Etudes sur le radium (C. R., 1901, t. 133, p. 973).
191. BRANLY (E.). — Le radium (Mois littéraire et pittor., avril 1904).
192. CÖHN (A.). — Sur la façon dont se comporte le radium au point de vue électrochimique (Berichte der deutschen chem. Gesell., Berlin, t. 37, n° 4, 12 mars 1904).
193. CURIE (P.). — Sur la radioactivité induite et sur l'émanation du radium (C. R., 1903, t. 136, p. 223),
194. CURIE (M^{me}). — Recherches sur les substances radioactives (Thèse de Paris pour le doctorat ès sciences, 2^e éd., 1904).
195. CURIE (P.) et M^{me} CURIE. — Sur les corps radio-actifs (C. R., 1902, t. 134, p. 85).
196. CURIE (P.) et DANNE (J.). — Sur la disparition de la radioactivité induite par le radium sur les corps solides (C. R. 1903, t. 136, p. 364).

- 196^{bis}. CURIE (P.). — Sur l'émanation du radium et son coefficient de diffusion dans l'air (C. R. 1903, t. 136, p. 1314).
197. CURIE (P.) et DEBIERNE (A.). — Sur la radioactivité induite provoquée par les sels de radium (C. R., 1901, t. 132, p. 548).
198. CURIE (P.) et DEBIERNE (A.). — Sur la radioactivité des sels de radium (C. R., 1901, t. 133, p. 276).
- 198^{bis}. CURIE (P.). — Sur la radioactivité induite provoquée par des sels de radium (C.R., 1901, t. 133, p. 931).
199. CURIE (P.) et LABORDE (A.). — Sur la chaleur dégagée spontanément par les sels de radium (C. R., 1903, t. 136., p. 673).
200. DAHMS. — Contribution à l'étude des phénomènes de phosphorescence (Ann. der Physik, 4^e série, t. XIII, n° 3, 16 fév. 1904).
201. DANNE (J.). — Le radium. Sa préparation et ses propriétés (Paris, Ch. Béranger, 1904).
202. DANNE (J.). — Les sels de radium (3 articles) (La Nature, mars et avril 1904).
203. DEBIERNE (A.). — Sur la radioactivité induite provoquée par les sels d'actinium (C. R., 1903, t. 136, p. 446).
- 203^{bis}. DEBIERNE (A.). — Sur la production de la radioactivité induite par l'actinium (C. R. 1903, t. 136, p. 671).
204. DEMARÇAY. — Le spectre du radium (C. R., déc. 1898, nov. 1889 et juillet 1900).
205. DUNSTAN (W.). — The occurrence of Thorium in Ceylon. (Nature; Londres. 31 mars 1904).
206. E. T. — Eaux et boues de Saubusse (Landes). (Le Monde thermal, jeudi 4 févr. 1904).

207. FENTON (H. J. H.). — On decomposition of hydrogen dioxide under the influence of radium bromide. (Soc. philos. de Cambridge, 29 fév. 1904).
208. FOVEAU DE COURMELLES. — Le radium et les corps radio-actifs. (Rev. internat. de thérapie physique, 1^{er} nov. 1903).
209. F. S. — Fluorescent bodies excited by radium. (Nature ; 31 mars 1904).
210. HAMMER (W. J.). — Radium and other radio-active substances : polonium, actinium, thorium ; with a consideration of phosphorescent and fluorescent substances. (In 8^e, 80 p., Londres, 1903).
211. HIMSTEDT (F.). — Sur l'émanation radio-active des sources d'eau et de pétrole. (Annal. der Phys. 4^e série, t. XIII, 16 fév. 1904).
212. JUMON. — Le radium ; propriétés physiques et thérapeutiques (Rev. de therap., 15 octobre 1903).
213. MARCKWALD (W.). — Contribution à la connaissance du radium. (The Chemical News, Londres, 16 février 1904).
214. MARCKWALD (W.). — Radio-tellurium. (Nature ; Londres, 17 mars 1904).
215. MOUTON (H.). — Les divers rayons et leurs propriétés physiologiques et thérapeutiques (Bull. de l'Inst. Pasteur, 29 fév. 1904).
216. PRECHT. — Dégagement de chaleur du radium. (Soc. all. de Phys., 5 fév. 1904).
217. *Radium*. — Son extraction (A. E. M. 1903, p. 753).
218. *Radium*. — Son poids atomique (Rev. scient., 16 janvier 1904, p. 82).
- 218 ^{bis}. *Radium (Le)*. — Revue mensuelle illustrée, Paris, 1904.

219. RAMSAY (W.). — Degradation of elements. (Nature : Londres, 31 mars 1904).
220. RAMSAY (W.). — A new mineral from Ceylan (Nature ; Londres, 7 avril 1904).
221. RE FILIPPO. — Hypothèse sur la nature des corps radioactifs. (C. R., 1903, t. 136, p. 1393).
222. RUTHERFORD (E). — Radio-active change. (Philos. Mag. ; mai et juin 1903).
223. RUTHERFORD et BARNES. — Emission spontanée de chaleur par les sels de radium (Electr. World and Engineer, t. 42, p. 932).
224. STRUTT (R. J.). — Sur les rayons très pénétrants du radium (A. E. M. 1903, p. 704).
225. WEBER (R. H). — Unsere heutige Kenntniss der Radioactivität. (D. M. W., 24 mars 1904).
226. WILLIAM (SIR). — On the spectrum of the spintaneous luminous radiation of radium at ordinary temperature. (The astrophys. Journ., vol. 18).

*
* *

4. Rayons de Blondlot.

227. ASCOLI (M.). — Une nouvelle espèce de radiations : les rayons N (Rev. gén. des sciences pures et appliquées, 15 mars 1904).
- 227^{bis}. BAGARD (H.). — Sur la rotation magnétique du plan de polarisation des rayons N (C. R., 1904, t. 138, 28 février).
228. BALLET (G.). — Emission des rayons N dans quelques affections nerveuses (C. R., séances des 15 et 22 février 1904).

229. BECQUEREL (J.). — Action des anesthésiques sur les sources de rayons N (C. R., 1904, t. 138, p. 1159).
230. BICHAT (E.). — Sur le mécanisme de la transmission des rayons N par des fils de différentes substances (C. R., 1904 t. 138, p. 329).
231. BICHAT (E.). — Sur la transparence de certains corps pour les rayons N (C. R., 1904, t. 138, 24 fév.).
232. BICHAT (E.). — Cas particulier d'émission des rayons N (C. R., 1904, t. 138, 29 fév.).
233. BLONDLOT (R.). — Sur une nouvelle espèce de lumière (1^{re} communication) (C. R., 1903, t. 136, 23 mars).
234. BLONDLOT (R.). — Sur l'existence, dans les radiations émises par un bec Auer, de rayons traversant les métaux, le bois (2^e communication), (C. R., 1903, t. 136, 11 mai).
235. BLONDLOT (R.). — Sur de nouvelles sources de radiations capables de traverser les métaux, le bois (3^e communication), (C. R., 1903, t. 136, 25 mai).
236. BLONDLOT (R.). — Sur l'existence de radiations solaires capables de traverser les métaux et le bois (4^e communication), (C. R., 1903, t. 136, 15 juin).
237. BLONDLOT (R.). — Sur une nouvelle action produite par les rayons N et sur plusieurs faits relatifs à ces radiations (5^e communication), (C. R., 1903, t. 137, 20 juillet).
238. BLONDLOT (R.). — Sur de nouvelles actions produites par les rayons N (6^e communication, C. R., 1903, t. 137, 2 nov.).
239. BLONDLOT (R.). — Sur l'emmagasinement des rayons N par certains corps (7^e communication), (C. R., 1903, t. 137, 9 nov.).

240. BLONDLOT (R.). — Sur le renforcement qu'éprouve l'action exercée sur l'œil par un faisceau de lumière lorsque ce faisceau est accompagné de rayons N (8^e communication), (C. R., 1903, t. 137, 23 nov.).
241. BLONDLOT (R.). — Sur la propriété d'émettre des rayons N que la compression confère à certains corps, et sur l'émission spontanée et indéfinie de rayons N par l'acier trempé, le verre trempé et d'autres corps en état d'équilibre moléculaire contraint (9^e communication), (C. R., 1903, t. 137, p. 962).
242. BLONDLOT (R.). — Sur la dispersion des rayons N et sur leur longueur d'onde (C. R., 1904, t. 138, p. 125).
243. BLONDLOT (R.). — Enregistrement, au moyen de la photographie, de l'action produite par les rayons N sur une petite étincelle électrique (C. R., 1904, t. 138, 22 fév.).
244. BLONDLOT (R.). — Particularité que présente l'action exercée par les rayons N sur une surface faiblement éclairée (C. R., 1904, t. 138, 29 fév.).
245. BLONDLOT (R.). — Rayons N et N₁ (C. R., 1904, t. 138, 29 fév.).
246. BLONDLOT (R.). — Action comparée de la chaleur et des rayons N sur la phosphorescence (C. R., 1904, t. 138, 14 mars).
247. BLONDLOT (R.). — Rayons N ; recueil des communications faites à l'Académie des Sciences, avec des notes complémentaires et une instruction pour la confection des écrans phosphorescents. — Paris, Gauthier-Villars, 1904).
248. BORDIER (H.). — Dispositifs permettant de déceler les rayons N (Soc. méd. des Hôpitaux de Lyon, 23 fév. 1904).

249. BORDIER (H.). — Sur une nouvelle source de rayons N (Soc. méd. des Hôpitaux de Lyon, 7 juin 1904).
250. BROCA (A.). — Quelques points de technique pour l'examen des organes au moyen des rayons N (C. R., 1904, t. 138, p. 1161).
251. CHARPENTIER (A.). — Emission des rayons N par l'organisme humain et spécialement par les muscles et les nerfs (C. R., 1903, t. 137, p. 1049).
- 251^{bis}. CHARPENTIER (A.). — Nouveaux faits sur les rayons N d'origine physiologique; localisations nerveuses (C. R., 1903, t. 137, p. 1277).
252. CHARPENTIER (A.). — Recherches sur les rayons N dans l'organisme (A. E. M., 1904, p. 58)
253. CHARPENTIER (A.). — Sur certains phénomènes provenant de sources physiologiques ou autres, et pouvant être transmis le long de fils formés de différentes substances (C. R., 1904, t. 138, p. 194).
254. CHARPENTIER (A.). — Action des rayons N (C. R., 1904, t. 138, 7 mars).
255. CHARPENTIER (A.). — Généralisation par les voies nerveuses, de l'action des rayons N appliqués sur un point de l'organisme (C. R., 1904, t. 138, 7-14 mars).
256. CHARPENTIER et MEYER (E.). — Sur l'émission de rayons N dans certains phénomènes d'inhibition (C. R., 1904, t. 138, 15 et 22 mars).
257. CHARPENTIER (A.). — Phénomènes divers de transmission des rayons N et applications (C. R., 1904, t. 138, 29 fév.)
258. GALTIER (C.). — Les radiations humaines (C. R., 1904, t. 138, p. 115).
259. GRÄTZ (L.). — Ueber neue physikalische Strahlungsforschungen (Becquerel-Strahlen und N-Strahlen), (M. M. W., 5 avril 1904, p. 598).

260. GUILLEMINOT (H.). — Les travaux de M. Blondlot sur les rayons N (A. E. M., 1904, p. 51).
261. GUILLEMINOT (H.). — Etat actuel de la question des rayons N (A. E. M. 1904, p. 373 et 407).
262. GUTTON — Action des champs magnétiques sur des sources lumineuses peu intenses (C. R., 1904, t. 138, 1^{er} févr.)
263. GUTTON. — Sur l'effet magnétique des courants de convection (C. R., 1904, t. 138, 8 févr.)
264. GUTTON. — Sur l'action des champs magnétiques sur les substances phosphorescentes (C. R., 1904, t. 138, 29 févr.)
265. JÉGOU. — Sur les rayons N émis par un courant électrique passant dans un fil (C. R., 1904, t. 138, 22 févr.)
266. LADENDORF (A.) — Ueber die Bildung von leuchtenden und chemisch wirkenden Strahlen in Körper (Deut. Med. Ztg, 16 avril 1903).
267. LAMBERT. — Action de certains phénomènes chimiques ou osmotiques sur la phosphorescence (C. R., 1904, t. 138, 7 mars)
268. LAMBERT. — Emission de rayons de Blondlot au cours de l'action des ferments solubles (C. R., 1904, t. 138, p. 196).
269. LE ROUX (F. P.) — Des phénomènes qui accompagnent la contemplation à la chambre noire de surfaces faiblement éclairées par certaines lumières spéciales (C. R., 1904, t. 138, p. 1413, 6 juin)
270. MACÉ DE LÉPINAY. Sur la production de rayons N par les vibrations sonores (C. R., 1904, t. 138, p. 77).
271. MACÉ DE LÉPINAY. — Sur la possibilité de montrer par un phénomène de contraste l'action objective des rayons N sur le sulfure de calcium phosphorescent (C. R., 1904, t. 138, 29 mars).

272. MEYER (E.) — Etude des rayons N, produits par les ampoules de verre dans lesquelles on a fait le vide (C. R., 1904, t. 138, p. 101, 11 avril).
273. MEYER (E.) — Emission de rayons N par les végétaux (C. R., 1904, t. 138, p. 101, 11 janvier).
274. MEYER (E.) — Emission de rayons N par les végétaux maintenus à l'obscurité (C. R., 1904, t. 138, p. 272).
275. MEYER (J.) — Sur le pouvoir pénétrant des rayons N, émis par certaines sources et leur emmagasinement par certaines substances (C. R., 1904, t. 138, 11 avril).
276. MEYER (E.) — Emission de rayons N par les végétaux (S. M., 27 janv. 1904, p. 28).

*
* *

PARTIE PHYSIOLOGIQUE.

1. Action biologique de la lumière solaire et de la lumière électrique.

277. ARLOING. — Influence de la lumière sur la végétation et les propriétés pathogènes du bacillus anthracis (S. M. 1885 p. 46, 293, 309).
278. ASCHKINASS et CASPARI. — Ueber die Wirkung der Becquerelstrahlen auf Bakterien (Ann. Physik, 1901).
279. BADIA (J.) — Insolacion ; estudio sobre los casos ocurridos en Buénos Aires en los días del 3 al 9 de Febrero 1900 (In-8, 30 p., Buénos-Aires).]
280. BANG. — Ueber die Wirkungen des Lichtes auf Mikroben (Med. Lysinstitut, Kopenhagen, 1903).

281. BEAUNIS. — Physiologie humaine. — Paris, 1881.
282. BÉCLARD (J.) — Influence de la lumière sur les animaux (C. R., 1858, 4^{er} mars).
283. BÉCLARD (J.) — Influence de la lumière et des divers rayons colorés du spectre sur le développement des animaux, et sur les phénomènes de nutrition en général (C. R., 1858 et rappel dans C. R., t. 73, p. 1487).
284. BECK (M.) et SCHULTZ. — De l'action exercée par la lumière dite monochromatique sur le développement des bactéries (Zeitsch. f. Hyg. u. Infectiouskr., XXIII, 3).
285. BECQUEREL (E). — Des effets produits sur les corps par les rayons solaires (Ann. de Phys. et de chimie 3^e série, N^o 9).
286. BELLINI (A.). — Luce e salute — Fototerapia (Milano, Hoepli, 1903).
287. BELZUNG (Er.). — Anatomie et physiologie végétales. — Paris. F. Alcan, 1900).
288. BERGMANN (von). — Mode d'action de la photothérapie. Soc. de méd. berlinoise, 5-12 juin 1901).
289. BERT (P.). — Influence de la lumière verte sur la sensitive (C. R., t. 70, p. 338).
290. BERT (P.). — Influence des diverses couleurs sur la végétation (C. R., t. 73, p. 4444).
291. BEYERINCK. — Action de la lumière sur les monades (Centrabl. f. Bakteriöl., XIV, p. 827).
- 291^{bis}. BIE. — Untersuchungen über die bakterientötende Wirkung der verschiedenen Abtheilungen des Spektrums (Mittheil. aus Finsens Lysinstitut — Leipsig, Vogel. 1900).
292. BOHN. — L'évolution des pigments (Coll. Scientia).

293. BOHN. — Sur le phototropisme des Artiozoaires supérieurs (C. R., 1903, t. 137, p. 1292).
294. BONNET (Ch.). — Ueber den Nutzen der Blätter bei Pflanzen — Nürnberg. 1792.
295. BONNIER. — Etude expérimentale de l'influence du climat alpin sur la végétation et les fonctions des plantes (Bull. Soc. bot. de France, 1888).
296. BONNIER. — Cultures expérimentales dans les hautes altitudes (C. R., 1890; Rev. gén. de bot. 1890 et suivantes).
297. BONNIER et MANGIN. — Respiration des plantes à la lumière (Ann. des sc. naturelles, t. 17, 18, 19; 1884).
298. BONNIER et MANGIN. — Influence de la lumière sur la respiration des graines et des plantes parasites (C. R. 1884).
299. BONNIER et MANGIN. — L'action chlorophyllienne dans l'obscurité ultra-violette (C. R., 1886).
300. BORDIER (H.). — Mécanisme de l'action de l'arc électrique sur les tissus dans la photothérapie (A. E. M., 1902, X, p. 65-70).
301. BOUCHARD. — Recherches sur la pellagre, 1862.
302. BOUSSINGAULT. — Action de la lumière sur les plantes (A. C. P., 2^e série, t. 67, p. 5 et 408; t. 69, p. 853).
303. BRANDT. — Ueber die morphologische u. physiol. Bedeut. des chlorophylls bei Thier (Arch. f. Physiol. — Leipsig, 1882, p. 125).
304. BREITUNG (M.). — Kritische Studien zur Pathologie und Therapie von Sonnenstich und Hirtzschlag (Deutsch. Medicinal Ztg. 65).
305. BRÜCKE. — Action de la lumière sur le caméléon (Sitzungsber. d. Wien Akad. 1851, II, p. 802).

306. BÜCHNER. — Ueber den Einfluss des Lichtes auf Bakterien und über die Selbstreinigung der Flüsse (Arch. f. Hyg. XVIII, p. 179).
307. BÜCHNER. — Action de la lumière sur le bacille typhique, le bacille du choléra et le bacille coli (Centrabl. f. Bakter., vol. 12, p. 218).
308. CAPRANICA (S.). — Action des rayons X sur l'élimination de CO^2 (Referat. im Prometheus Woch., 1896, p. 717).
309. CANDOLLE (de). — Expériences relatives à l'influence de la lumière sur quelques végétaux (Mém. des Sav. étrang., I, 1806).
310. CAPDEVIELLE. — Action des rayons chimiques de la lumière sur la peau et sur les microorganismes (Thèse de Lyon, 23 décembre 1901).
311. CARADEC. — Les bains de soleil chez les enfants (Hyg. usuelle — Paris 1900).
312. CHARCOT. — L'action stimulante de la lumière est due aux rayons chimiques (Comptes rendus de la Soc. de biol., 1858 p. 63).
313. CHARPENTIER. — La lumière et les couleurs au point de vue physiologique — Paris — J.-B. Baillière, 1888.
314. CHATIN et CARLE. — Photothérapie — Paris — Masson
315. CHATIN (A) et NICOLAU (S). — Puissance bactéricide comparative de l'arc électrique au fer et de l'arc ordinaire (S. M., 11 fév. 1903, p. 49).
316. CHMÉLEVSKY (P.). — Contribution à l'étude de l'action de la lumière électrique et solaire sur les microbes de la suppuration (Vratch, 14 mai 1902).
317. CLOEZ et GRATIOLET — Action de la lumière sur les végétaux (C. R., t, 31, p. 626).

318. COURTADE. — L'irritabilité dans la série animale. — Coll. Scientia.
319. DANDRIEUX. — Influence de la lumière dans la destruction des bactéries pour servir à l'étude du « tout à l'égout » (Ann. d'hyg. publ. nov. 1888).
320. D'ARSONVAL et CHARRIN. — Influence des agents atmosphériques et en particulier de la lumière et du froid sur le bacille pyocyanique (C. R., janv. 1894 et S. M., 1894, p. 26).
321. DARWIN. — Die Bildung der Ackererde durch die Würmer.
322. DARWIN. — La faculté motrice chez les plantes (trad. Heckel, 1882).
323. DEFONTAINE. — Coup de soleil électrique chez les ouvriers du Creusot (Bull. de la Société de Chirurgie de Paris, 28 déc. 1887, p. 799).
324. DEHÉRAIN (P.-P.). — Sur l'influence qu'exercent différents rayons lumineux sur la décomposition de l'acide carbonique et l'évaporation de l'eau par les feuilles (C. R., t. 69, p. 929).
325. DEUDONNÉ. — A quels rayons appartient l'action bactéricide de la lumière (Arb. aus dem Kais. Gesundheitsamt, vol. 9, p. 442).
326. DOWNES. — On the action of sunlight on Mikroorganisms ecc. (P. R. S. vol. 40, p. 14).
327. DOWNES et BLUNT. — Proc. Roy. Society of London, 1877, XXVI, p. 488 et 1878, XXVIII, p. 499.
328. DRIGALSKI (von). — Zur Wirkung der Lichtwärmestrahlen (Central, Bl. f. Bakt. 23 juin 1900).
329. DUBOIS (Raph.). — Sur le protée à la lumière. (C. Rendus de la Soc. de biol., 1890, p. 360).
330. DUBOIS (Raph.). — Leçons de physiologie générale et comparée — Carré et Naud, Paris.

331. DUBOIS, Raph. — Action de la lumière sur les animaux (Phys. biol. de d'Arsonval, t. II. 272-294).
332. DUBRUNFAUT. — Influence de la lumière dans la végétation et sur une relation de cette fonction avec celle de la chaleur (C. R., t. 66, p. 277).
333. DUBRUNFAUT. — Statique de la lumière dans les phénomènes de la vie des végétaux et des animaux (C. R., t. 66, p. 425).
334. DUCHARTRE. — Expériences relatives à l'influence de la lumière sur l'enroulement des tiges (C. R., t. 61, p. 442).
335. DUCLAUX. — L'action de la lumière est liée à un phénomène d'oxydation. (Ann. de l'Inst. Pasteur, 1887, p. 88).
- 335 bis. DUCLAUX, — Traité de microbiologie — Paris, 1898.
336. EDWARDS (W.). — Les agents physiques et la vie, 1825.
337. ELFVING. — Die photometrischen Bewegungen der Pflanzen (Ofvers. Finske Vet. — Soc. Förh., 1901).
338. ELSCHNING. — Troubles nerveux à la suite d'opérations ophtalmologiques (Wien. med. Blätter, 1887).
339. EMMERLING. — Die Einwirkung des Sonnenlichtes auf die Enzyme (Ber. der deuts. Chemischen Gesellschaft, 1901).
340. ENGELMANN. — Ueber Reizung contractilen. Protoplasmas durch plötzliche Beleuchtung (Pflüger's Arch. vol. XIX, 1879).
341. ENGELMANN. — Action de la lumière sur la *Pelomyxa palustris* (Pflüger's Archiv. XII, p. 4).
342. ENGELMANN. — Botanische Zeitung, 1881 et 1882.
343. ENGELMANN. — Couleur et assimilation (Ann. Sc. nat. t. XV).
344. FÉRÉ. — Accidents hystériques produits par la lumière électrique (S. M., 1889, p. 480).

- 344^{bis}. FINSSEN. — Lyset som Incitament (Hospitalstidende, Copenhagen, n° 8, 1895).
345. FÖRSTER-NIETZSCHE (E). — Wie die Zarathustra entstand (Zukunft, p. 20, 1897).
346. FOVEAU DE COURMELLES. — La photothérapie (Rev. méd. de therap. méd. chir., 1903, LXX, p. 217-226).
347. FRANKL-HOCHWART. — 31 cas de psychoses à la suite d'opérations sur les yeux (Jahrbücher f. Psychiâtrie. Wien, 1890).
348. FREUND (L.). — Beitrag z. Durchlässigkeit f. Licht in der Epidermis (Arch. f. Dermat. u. Syph., LVIII, 1901).
349. FRANKENHAUSER (F.). — Untersuchungen über die Eigenart der Glühlichtbäder (Monatssch. f. orthopäd. Chir., sept. 1903).
350. FUBINI. — Moleschott's Untersuchungen, vol. II, p. 488.
351. FUBINI et RONCHI. — C. R., 1876.
352. GAILLARD. — Influence de la lumière sur les microorganismes (Thèse de Lyon, 13 janvier 1888).
353. GEBHARDT. — Die Heilkraft des Lichtes. Leipzig, 1898.
354. GEISLER. — Action de la lumière sur les bactéries (Arch. de méd. expérimentale, nov. 1891, p. 800).
355. GEISSLER. — Zur Frage über die Wirkung des Lichtes auf Bakterien (Bacteriol. Centralblatt, 1892).
356. GIUNTI. — Action de la lumière sur la fermentation alcoolique (Accademia dei Lincei, 3 giugno 1883).
357. GIUNTI. — Action de la lumière sur la fermentation acétique (Stazioni sperimentali agrarie italiane, 1890, fasc. 20),
358. GRIFFON. — L'assimilation chlorophyllienne et la structure des plantes (Coll. Scientia, — Paris),

359. GRUBER (V.). — Action de la lumière sur les lombrics (Sitzungsber. der K. K. Akademie zu Wien, 1883, vol. 87).
360. GUILLEMIN. — Développement de la matière verte des végétaux et flexion des tiges sous l'influence des rayons ultra-violet, calorifiques et lumineux du spectre solaire (C. R. t. 45, p. 62 et 543).
361. HAMMER. — Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Haut. Stuttgart, 1891.
362. HAMMER. — De l'influence de la lumière sur la peau humaine (2^e Congrès de la Soc. all. de Dermat. Leipsig, 19 sept. 1894).
363. HENDERSON (E.). — Heat apoplexy (Brit. Med. Journ., 20 sept. 1902).
364. HILL (R.). — Two cases of electric light blindness (Lancet, 24 juill. 1897).
365. HOFBAUER. — Action de la lumière sur la force musculaire (20^e Congrès allem. de Médec. interne, Wiesbaden, 15-18 avril 1902).
366. HOFMEISTER. — Die Lehre von der Pflanzenzelle, 1867.
367. HUMPERDINCK. — Neue Deutsche Rundschau, 1887.
368. INGENHOUSZ. — Versuche mit Pflanzen, Wien, 1786-1790.
369. JAKMIN (Mlle). — De l'influence de certaines conditions dysgénésiques sur le bacillus coli communis: lumière solaire, etc. Montpellier, 1900.
370. JAMIESON. — The influence of light on the development of Bacteria (Nature, vol. 26, p. 244).
371. JANOWSKI. — Influence de la lumière sur le bacille typhique (Bacteriol. Centralblatt, vol. 8, p. 167).
372. JODIN. — Action chimique de la lumière sur quelques principes immédiats des végétaux (C. R., t. 59, p. 857).

373. JOSEPH et PROWAZEK. — Versuchen über die Einwirkung von Röntgenstrahlen auf einige Organismen besonders auf deren Plasmathätigkeit (Z. f. allg. Physiol., 1902, t. I, p. 42).
374. JOUSSET. — Action de la lumière solaire et de la lumière diffuse sur les bacilles de Koch contenus dans les crachats (Soc. de biol., 27 oct. 1900).
375. KLEBS. — Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Fortpflanzung des Gewächse (Biol. Centralblatt, 1893).
- 375^{bis}. KOCH. — Action de la lumière sur le bacille tuberculeux (Congrès international de Berlin, 1890).
376. KORANY. — Action de la lumière sur les animaux (Centralbl. f. Physiol., vol. VI, p. 6).
377. KOTLIAR (E.). — De l'influence de la lumière sur les bactéries (en russe) (Vratch, 24 sept. et 1^{er} oct. 1893).
378. KRAUSE. — Action de la lumière sur le bacille d'Eberth (Zeitschrift. f. Hyg., vol. 19, p. 313).
379. LANDESBERG. — Troubles nerveux par privation de lumière (Centrabl. f. Augenheilkunde, 1885).
380. LEDOUX-LEBARD. — Action de la lumière sur le bacille diphtérique (Arch. de méd. expér. et d'anat. pathol., nov. 1894).
381. LEDUC (S.). — Photothérapie profonde par sensibilisation des tissus (A. E. M., 1904, p. 203).
- 381^{bis}. — LEREDDE et PAUTRIER. — Influence des radiations de différentes longueurs d'onde sur le développement des batraciens (Compt. rendus, Soc. de biol., t. LIII, 1901, n° 41).
382. LOEBEL. — Les causes du coup de soleil (Journ. der prakt. Heilkunde von Hufeland u. Harles, Bd XL, 1815).

383. LUBBOCK. — Action de la lumière sur les fourmis (Ameisen, Bienen, Wespen. 1883).
384. LUBINSKY. — Influence de la lumière électrique sur les yeux (S. M., 1889, p. 40).
- 384^{bis} *Lyon Médical*. — Comment les Arabes échappent à la tuberculose (34^e année, n° 51, p. 865).
385. MAAG (P.). — Ueber den Einfluss des Lichtes auf den Menschen und den gegenwärtigen Stand der Freilichtbehandlung (Corresp.-Bl. f. Schweiz. Aerzte, 15 sept. et 1^{er} oct. 1903).
386. MACCHIATI. — De la Photosynthèse en dehors de l'organisme (C. R., 1902).
387. MACCHIATI. — La photosynthèse chlorophyllienne en dehors de l'organisme (Revue gén. de Botanique, 1903).
388. MAC DOUGAL. — The influence of light and darkness upon growths and development (Mem. N. Y. Bot. Garden, 1903).
389. MACFADYEN. — The effect of physical agent on bacterial life (Proc. R. Inst. Great Britain).
390. MAKLAKOW. — Troubles cutanés et oculaires dus à la lumière électrique (S. M., 1889, p. 40).
391. MANGIN. — Action des radiations sur les végétaux (in Phys. biol. de d'Arsonval, t. II, p. 312-345).
392. MARTIN (G.). — Les accidents oculaires engendrés par la lumière électrique ne sont pas dus aux rayons chimiques (Soc. de méd. et de chir. de Bordeaux, 22 juill. 1887).
393. MASELLA (S.). — Influenza della luce solare sulle infezioni sperimentali da bacillo del colera asiatico e del tifo addominale (Ann. d'Ig. speriment., V. 1).

394. MASELLA. — Action de la lumière sur les animaux rendus artificiellement malades (Ann. d'ig. sperim. di Romd, 1895).
395. MAXIMOW. — Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Athmung der niederen Pilze (Centrabl. f. Bakt., 1902).
396. MEYER (C.-F.). — Ueber den Einfluss des Lichtes in Höhenklima auf die Zusammensetzung des Blutes (Thèse de Bâle, 1900).
397. MIGNECO (F.). — Wirkung des Sonnenlichtes auf die Virulenz der Tuberkulbacillen (Arch. f. Hyg. XXV, 4).
398. MIGNECO (F.). — Action de la lumière sur le bacille tuberculeux (Annali d'ig. sperim., Roma, 1895, p. 216).
399. MITCHELL (W.) et CROUCH (H.). — The influence of sunlight on tuberculous sputum in Denver: a study as to the cause of the great degree of immunity against tuberculosis enjoyed by those living in high altitudes (Journ. of. Pathol. and Bacteriol., mai 1899).
400. MOLESCHOTT. — Recherches sur l'action de la lumière (Wiener medicin. Woch., 1855, n° 43).
- 400 bis. MÖLLER (M.). — Der Einfluss des Lichtes auf die Haut in gesundem und krankhaftem Zustande. — Stuttgart, 1900.
401. MUTSCHLER (L.). — Action purificatrice de la lumière sur l'eau des rivières (Berl. klin. Woch., 1892, p. 423).
402. OLEINIKOFF. — Action de la lumière rouge sur l'idéation (Médecine moderne, 10 avril 1901).
403. OLTSMANN. — Ueber die photometrischen Bewegung der Pflanzen (Flora, 1892).

404. ONIMUS. — Action de la lumière sur les microbes (Thèse de Paris, 11 avril 1889).
405. PALERMO. — Action de la lumière sur le bacille du choléra (Annal. d'Ig. sperim., Roma, vol. III, fasc. IV).
406. PANSINI. — Action de la lumière sur les microbes (Riv. d'Ig., 1889).
407. PFEFFER. — Pflanzenphysiologie, 1881.
408. PIAZZA. — Diminution de la virulence de la toxine diphtérique par la lumière (Ann. d'Ig. sperim., 1895, fasc. IV).
409. PISANI (R.). — L'action biologique de la lumière électrique bleue sur le travail musculaire (Ann. di elettrocita medica e di terapia, anno II, n° 8).
410. PLEASANTON. — The influence of the blue Ray of the Sunlight. — Philadelphia, 1877.
411. POEY. — Influence de la lumière violette sur la croissance de la vigne, des cochons, des taureaux (C. R., t. 73, p. 1236).
412. PONCET. — Délire nerveux à la suite de cécité (Lyon Médical, 1870, fasc. 10).
414. POUCHET. — Influence de la lumière sur les larves de Diptères privées d'organes extérieurs à la vision (C. R., t. 70, p. 1220 et t. 73, p. 489).
415. PRAUSNITZ. — Der Einfluss der Münchener Kanalisation auf die Isar (München, 1889).
416. PRIESTLEY. — Experiments on air and natural philosophy. — Birmingham, 1774-1786.
417. PRILLIEUX. — De l'influence qu'exerce l'intensité de la lumière colorée sur la quantité de gaz que dégagent les plantes submergées (C. R., t. 69, p. 294).
418. PRILLIEUX. — De l'influence de la lumière artificielle sur la réduction de l'acide carbonique par les plantes (C. R., t. 69, p. 408).

419. PRILLIEUX. — Sur le verdissement des plantes étiolées (C. R., t. 69, p. 1023).
420. PRILLIEUX. — Sur les mouvements des grains de chlorophylle sous l'influence de la lumière (C. R., t. 70, p. 46).
421. PRILLIEUX. — Influence de la lumière bleue sur la production de l'amidon dans la chlorophylle (C. R., t. 70, p. 524).
422. PRINGSHEIM. — Untersuchungen über das chlorophyll (Monatsber. der K. Akad. der Wiss. zu Berlin, 1874-1875).
423. RANSONE et SHERIDAN. — Action de la lumière sur le bacille tuberculeux (New-York Med. Journ., 1894, n° 12).
424. RAYNAUD. — Des érythèmes produits par la lumière naturelle et artificielle (Thèse de Lyon, 1892).
425. RÉGNIER (L. R.). — Radiothérapie et Photothérapie. — Paris, J.-B. Baillière.
426. RICHARDSON. — Formation d'eau oxygénée sous l'influence de la lumière solaire (Journ. Chem. Soc., 1893, p. 1409).
427. RICHTER. — Etude sur la photosynthèse et sur l'absorption par la feuille verte de rayons de longueur d'onde différente (Rev. gén. de Bot., 1902).
428. RIVIÈRE. — La physiothérapie (XII^e Congrès intern. de Méd., à Madrid, avril 1903).
- 428 bis. ROMME. — Principes de photothérapie. Il cite BORISSOFF (Presse médic., 21 sept. 1901).
429. RONCHI et FUBINI. — Variations dans l'émission de CO^2 par un membre placé à l'obscurité ou à la lumière (Arch. per la Scienze mediche, 1879, vol 4).
430. ROSSBACH. — Die rhythmischen Bewegungsercheinungen d. einf. Organism. u. ihr. Verhalten gegen physikal. Agent, 1871.

- 430^{bis}. RÖTHERT. — Ueber Heliotropismus (Beiträge z. Biologie der Pflanzen, VII, 1894).
- 431 ROUX. — Action de la lumière sur les microbes (Ann. de l'Inst. Pasteur, 1887, t. I, p. 445).
- 431^{bis}. ROZE (E.). — Sur les mouvements des grains de chlorophylle dans les cellules végétales sous l'influence de la lumière (C. R., t. 70, p. 433).
- 432 SABRAZÈS et RIVIÈRE. — Recherches sur l'action biologique des rayons X (C. R., t. 114, p. 976).
433. SACHS. — Phénomènes chimiques produits chez les végétaux par la lumière (Flora, 1862 et 1863; — Bot. Zeit., 1864; — Arb. des Bot. Inst. in Würzburg, 1864).
434. SACHS. — Wirkungen des farbigen Lichtes auf Pflanzen (Bot. Zeit., 1865).
435. SACHS. — Action de la lumière sur les plantes (Pflanzenphysiologie, p. 682).
436. SANFELICE (F.). — De l'influence des agents physico-chimiques sur les anaérobies pathogènes du sol (Ann. de microgr.; oct., nov. 1893).
437. SANTORI. — Action de la lumière sur le bacille du charbon (Bollett. dell' Accad. Medica di Roma, XVI, 1889-90).
438. SANTORI. — Influenza della temperatura sull'azione microbica della luce (Ann. dell'Ist. d'Igiene spec. di Roma, 1890, vol. II, p. 421).
439. SAUSSURE (de). — Recherches physiques sur la végétation, Paris, An XII.
440. SCHENK. — Zur Lehre über den Einfluss der Farbe auf das Entwicklungsleben der Thiere (Mittheilung. aus dem embryol. Inst. d. Universität in Wien, vol I, p. 265).

441. SCHMIDT-RIMPLER. — Troubles psychiques produits par privation de lumière (Arch. f. Psychiâtrie, 1879, vol. 9, p. 233).
442. SCHOBERT (A). — Action des rayons X sur les plantes (Berichte der deutschen botanischen Gesell., 1896, p. 108).
443. SCHÖNENBERGER. — Einfluss des Lichtes auf den thierischen Organismus (Thèse de Berlin, 1898).
444. SCHULTZ. — Ueber die Einwirkung des Lichtes auf die Keimungsfähigkeit der Sporen der Moose, Farn und Schachtelhalme (Beihefte z. Bot. Centr.).
445. SCHUMBURG et ZUNTZ. — Zur Kenntniss der Einwirkungen des Hochgebirges auf die menschlichen Organismus (Arch. f. d. ges. Physiol., 1896, LXIII, p. 461).
446. SCHWARZ et GOTTWALD. — Ueber die assimilatorische Wirkung der Röntgenstrahlen (Sitz. ber. K. Ak., Wien, 1903).
447. SELMI et PIACENTINI. — Recherches sur l'action de la lumière (Istit. Lomb. di scienze e lettere, 1870, p. 57-63).
448. SENEBIER. — Physikalisch-chemische Abhandlungen, Leipsig, 1785.
449. SOUS (G.). — Eclairage électrique des théâtres (Communic. à la Soc. de méd. et de chir., Bordeaux, 22 juillet 1887).
- 449 bis. STAHL. — Einfluss der Beleuchtungsrichtung auf Equisetum Sporen (Ber. d. Deut. Bot. Ges., 1885, vol. III).
450. STANLEY. — Les nègres ne naissent pas noirs (In darkest Africa, p. 157).
451. STEIN. — Action analgésique de la lumière électrique (S. M. p. CXLVI, 1890).

452. STRASBURGER. — Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen, 1878.
453. STREBEL. — Coups de soleil sur les glaciers (Arch. f. Lichttherapie, 1901, p. 322).
- 453 bis. STREBEL. — Recherches sur les rayons bactéricides de faible longueur d'onde (Arch. f. Lichttherapie, 1901, p. 322).
454. STROHMER. — Formation de sucre dans les plantes sous l'influence du soleil (Oesterreichisch-ungar. Zeitschrift f. Zucker. Industrie u. Landwirtschaft).
455. TAPPEINER (H. von). et JESIONEK. — Essais thérapeutiques avec des substances fluorescentes (M. M. W., 24 nov., 1903).
- 455 bis. THEODORESCO. — Influence des diverses radiations lumineuses sur la forme et la structure des plantes (Ann. Soc. nat. de bot., 8^e série, t. X, p. 141).
456. TIMIRIAZEFF. — Recherches sur la décomposition de l'acide carbonique dans le spectre solaire par les parties vertes des végétaux (A. C. P., 5^e série, t. XII, 1877).
457. TYNDALL. — Note on the Influence exercised by Light on Organic Infusions (P. R. S., vol. 28, n^o 19).
458. UFFELMANN. — Action purificatrice de la lumière (Archiv. f. Hygiene, 1888, p. 289).
459. UFFELMANN. — Die hygienische Bedeutung des Sonnenlichtes, Vienne. 1889.
460. UNNA. — Ueber das Pigment des menschlichen Haut (Monatsch. f. Dermat., 1885, p. 285).
461. VAN TIEGHEM. — Transpiration et chlorovaporisation (Bull. Soc. Bot. de France, 1886).
462. VERWORN (M.). — Fisiologia generane, Torino, 1898.
463. VERWORN (M.). — Psycho-physiologische Protistenstudien (Experimentelle Untersuch. Nachschrift; Iéna, 1889).

464. VESQUE. — De l'influence du milieu sur la structure anatomique des végétaux (Ann. de l'Institut. agron., 3^e série, 1878-1879).
465. VINCENT. — Influence de la lumière solaire sur le bacille de la fièvre typhoïde (Rev. d'hyg., mars 1898).
- 465^{bis}. VÖCHTING. — Uber den Einfluss des Lichtes auf die Gestaltung und Anlage der Blüten (Prings. Jahrb., xxv ; 1893).
466. WAITZ. — Origine de la coloration de la peau des nègres (Anthropol. der Naturvöller. 1877, p. 39-40).
467. WEDDING. — Action de la lumière sur la peau des animaux (Verhand. der Berlin. Ges. f. Anthropologie, 1899, p. 167).
468. WESBROOK (F.). — Some of the effects of sunlight on tetanus cultures (Journ. of Pathol. and Bactériol., nov. 1894).
469. WESBROOK (F.). — The growth of cholera (and other) bacilli in direct sunlight (Journ. of. Pathol. and Bactériol., janv. 1896).
470. WIDMARK. — Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Haut (Hygiea, Festband, III, 1889).
- 470^{bis}. WIESNER. — Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche (Denkschrift. der K. Akad. der Wissenschaft. z. Wien, I Theil, 1872 ; II Theil, 1880).
471. WINSLOW. — Light, its influence on life and health, 1867.
472. WITTLING. — Action purificatrice de la lumière (Wiener klin. Wochensch., 1896, p. 1229).
- 472^{bis}. YUNG. — Action de la lumière sur la nutrition animale (C. R., t. 87 et Arch. de Zool. expérim 1878, t. VII, 2).

473. ZANTEDESCHI. — Influence de la lumière transmise par des verres colorés sur les phénomènes de la végétation et de la germination (C.R., t. 46, p. 747).

2. Action Biologiques des rayons de Rontgen

474. ALBERS-SCHÖNBERG. — Azoospermie et rayons X (Gaz. hebdomadaire des Sc. méd. de Bordeaux, 15 nov. 1903).
475. ALBERS-SCHÖNBERG. — Über eine bisher unbekannte Wirkung der Röntgenstrahlen auf den Organismus der Tiere (M. M. W., 17 oct. 1903).
476. APOSTOLI. — Sur un cas très grave de dermatite due aux rayons X (C. R., 1897, 14 juin).
477. BALZER. — Lésions cutanées déterminées par les rayons de Röntgen (Soc. de dermat. et de syph., 12 janv. 1899).
478. BAR et BOULLÉ. — Troubles trophiques de la paroi abdominale produits par les rayons X sur une femme enceinte ; heureuse influence des rayons rouges (Presse Méd. 31 juill. 1901, p. 48).
479. BARTHELEMY. — Troubles trophiques consécutifs à l'action des rayons de Röntgen (Soc. de dermat. et de syph., 7 fév. 1901).
480. BEAU. — The effect of Röntgen rays upon certain bacteria (Journ. advanced therap., New-York, 1903, XXI, p. 362).
481. BEHREND. — Troubles trophiques de la peau et des ongles par les rayons de Röntgen (Berlin, méd. Ges. 8 déc. 1897).
482. BEHREND. — Influence des rayons X sur la peau (S.M., 1897, p. 463).

483. BECK et SCHULTZ. — Ueber die Einwirkung sogenannten monochromatischen Lichtes auf die Bakterienentwicklung (Zeitsch. f. Hyg. u. Infektionskr. 1896, p. 490).
484. BENEDIKT. — Prédilection des personnes blondes à la dépilation par les rayons X (Wien. méd. Woch., 1901, 44).
485. BERTON. — Action des radiations de Röntgen sur le bacille diphtérique (C. R., 13 juill. 1896).
486. BLAICKIE. — Action des rayons X sur les microbes (The Lancet, 1898, II, p. 1425).
487. BLAISE et SAMBUC. — Action des rayons X sur les bactéries (Compt. rend. de la Soc. de biol., t. IV, 1897, p. 689).
488. BONOMO et GROS. — Rayons X et microbes (Giorn. méd. del Regio Esercito, N° 6, 1897).
489. BORDIER (H). — Les actions moléculaires dans l'organisme (Coll. Scientia, N° 4).
490. BRUNTON BLAICKIE. — Action des rayons X sur les bactéries (The Lancet, 1898, t. V, p. 1425).
491. CANIDY (P.). — Observation d'une brûlure grave due aux rayons X (Med. Record, 3 fév. 1900).
492. CIPOLLINA et MARAGLIANO (V). — Sull' azione battericida dei raggi X (Gazz. degli Osped, 21 déc. 1902).
493. CROOKES. — Grave cas de dermatite due aux rayons X (M. M. W., 1897 p. 17).
494. DANIEL (J.). — Action dépilatoire des rayons X (Méd. Record, 25 avril 1896).
495. DARIER (J.). — Alopecie déterminée par les rayons de Röntgen (Soc. de dermat. et de syph., 9 fév. 1899).
496. DESTOT. — Troubles physiologiques et trophiques dus aux rayons X (C. R., 1897, 17 juin).

497. EHRMANN. — Recherches sur les effets thérapeutiques de l'électricité et des rayons X. Wien, 1901.
498. FRANTZIUS. — Action des rayons X sur le virus rabique (Bacter. Centrabl., 1897, p. 261).
499. FREUND (L.). — Ueber die Behandlung von Dermatosen mit Spannungselektricität (Monatsh. f. Praktische Dermat., 1901, n° 2).
500. FREUND (L.). — Grundniss der gesammten Radiotherapie für praktische Aerzte. 1903.
501. FREUND (L.) et OPPENHEIM (M.). — Ueber bleibende Hautveränderungen nach Röntgenbestrahlung (Wien. klin. Woch., 24 mars 1904).
502. FUCHS. — Dermatite douloureuse due aux rayons de Röntgen (D. M. W., 1896, p. 569).
503. GASSMANN et SCHENKEL. — Histologie pathologique des radiodermes (Fortschritte, II, 128).
504. GASSMANN. — Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen (1889, Bd. II, Heft 4, p. 197).
505. GRUMNACH. — Action des rayons X sur les microorganismes (D. M. W., 1899).
506. HALLOPEAU. — Lésions dues à une radio-dermite chronique (Soc. de Dermat., juillet 1902).
507. HEINECKE (H.). — Ueber die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Tiere (M. M. W., 1^{er} déc. 1903, p. 2090).
508. JUTASSY. — Les radiodermes sont dues aux rayons X (Fortschritte, vol. II, 118).
509. JUTASSY. — Orvosi Hetilap., 1898 (ref. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntg., 1899, Bd. II, p. 194).
510. KAPOSI. — Gesellschaft der Aerzte in Wien (11 mai 1898).

511. KIENBÖCK (R.). — Ueber die Einwirkung des Röntgenlichtes auf die Haut (Wiener klin. Wochenschrift, 1900, n° 50).
512. KIENBÖCK. — Zur Pathologie der Hautveränderungen durch Röntgenbestrahlung bei Mensch und Thier (Wien. medicin. Presse, 1901, n° 49).
513. KÜMMEL. — Les rayons X ont une action caustique (Kongress der Deutsch. Ges. f. Chirurgie, xxvii, 1896).
514. LECERCLE. — Action des rayons de Röntgen sur l'élimination des phosphates (S. M., 1896, p. 357).
515. LÉPINE (R.). — Excitation fonctionnelle du corps thyroïde au moyen des rayons X (Sem. méd., 27 janv. 1904, p. 28).
516. LÉPINE et BOULUD. — Action des rayons X sur la nutrition (Lyon Méd., 13 et 20 déc. 1903).
517. LEPPING (O.). — Inflammation de la peau sous l'influence des rayons X (D. M. W., 1896, n° 28).
518. LORTET et GENOUD. — Tuberculose expérimentale atténuée par les radiations X (S. M., 1896, p. 266).
519. MALDINEY et THOUVENIN. — Action des rayons X sur la germination des graines (C. R., 30 mars 1896 et 22 juin 1896, p. 1514).
520. MARKUSE (W.). — Dermalite et alopecie provoquées par les rayons de Röntgen (D. M. W., n° 30, 1896).
521. MINCK (F.). — Zur Frage über die Einwirkung der Röntgen'schen Strahlen auf Bakterien und ihre eventuelle therapeutische Verwendbarkeit (M. M. W., 1896, 4 fév. et 3 mars; 1898, n° 9).
522. MÜHSAM. — Action des rayons X sur la tuberculose expérimentale (Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie, 1897).

523. MÜHSAM. — Action des rayons X sur les microbes (M. M. W., 1898, p. 1178).
524. *Nature (La)* (journal). — Les méfaits des rayons X. par C. E. G (n° 1226, 28 nov. 1896).
525. *Nature* (journal). — Effets des rayons de Röntgen sur la peau (Rev. scient., 7 nov. 1896).
526. OGUS (M^{le}). — Action des rayons X sur la tuberculose expérimentale (Thèse de Montpellier, juillet 1898).
527. OUDIN. — Vulnérabilité des tissus au niveau d'une ancienne radiodermite (Soc. d'électroth., mars 1900).
528. OUDIN. — Accidents causés par les rayons X (Annales d'électrobiol., 1901).
529. OUDIN. — Accidents tardifs dus aux rayons X (Ann. d'électrobiol., mars-avril 1901, p. 217).
530. OUDIN. — Sur les accidents dus aux rayons X (Rapport au Congrès de Berne, septembre 1902).
531. OUDIN. — Sur les accidents dus aux rayons X (A. E. M., 1902, X, p. 513-545).
532. OUDIN, BARTHÉLEMY, DARIER. — Accidents consécutifs à l'emploi des rayons X (France Médic., 25 fév. 1897).
533. PERTHES. — De l'influence des rayons de Röntgen sur les tissus épithéliaux, principalement sur le cancer (32^e Congrès de Chirurgie, Berlin, 3-6 juin 1903).
534. QUÉNISSET (F.). — Action des rayons de Röntgen sur le cœur (S. M., 1897, p. 138).
535. RIEDER (H.). — Wirkung der Röntgenstrahlen auf Bacterien (M. M. W., 25 janv. 1898, p. 101 et 773).
536. RIEDER. — Action des rayons X sur des infections expérimentales (M. M. W., 1899).

537. RODET et BERTIN-SANS. — Troubles médullaires produits par les rayons de Röntgen (S. M., 1898, p. 195).
538. RÖNTG. — Cryptochrose (Accad. dei Lincei, série 5 α , 1896).
539. RUBEL (M.). — Death due to X ray. ? (Journ. of the Amer. Med. Assoc., 22 nov. 1902).
540. SABRAZÈS et RIVIÈRE. — Action des rayons X sur les microbes (C. R., 3 mai 1897).
541. SATTERLEE. — The Röntgen or tri ultra-violet rays ; their nature, applications, and dermatological effects (Med. Record, 16 janv. 1904).
542. SCHALL. — Troubles trophiques provoqués chez l'homme par l'ampoule de Crookes (Thèse de Lyon, juillet 1898).
543. SCHAUDINN. — Action des rayons X sur les Protozoaires (Pflügers Arch. f. d. ges. Physiologie, 1899, t. 77, p. 29).
544. SCHIFF. — Der gegenwärtige Stand der X therapie. Breslau, 1901.
545. SHOLTZ. — Ueber den Einfluss der Röntgenstrahlen auf die Haut in gesundem und krankem Zustande (Arch. f. Dermat. u. Syph., 1902. Bd. 59, p. 87, 242, 421).
546. SHÜRMAYER (B.). — Näheres über Entstehung Vorkommen und Verhalten der Röntgenverbrennungen (Deutsche Praxis, 25 oct. 1902).
- 546^{bis}. SECKT. — Ueber den Einfluss der X Strahlen auf den Pflanz. Organisms. (Berichte d. Deut. Bot. Gesells., 1902).
547. SEGUY (G.). — Action des rayons X sur le cœur (C. R., mai 1897, et S. M., 1897, p. 138).

548. SEHRWALD. — Inflammation de la peau due aux rayons de Röntgen (D. M. W., 1896, p. 665).
549. SORMANI. — Action des rayons de Röntgen sur les bactéries (Rev. scient., 4 juillet 1896, p. 22).
550. STEMBO(L.). — Ueber die schmerzberuhigende Wirkung der Röntgenstrahlen (Therapie der Gegenwart, juin 1900).
551. STRATER. — Deutsche med. Wochenschrift, 1900.
552. TESLA (N.). — A quoi est due l'inflammation causée par les rayons X (Electrical Review, 18 mars 1896).
553. THOMSON (Elihu). — Sur une radiodermite (London Electr. Rev., 1897, 41, p. 514).
554. VALENCE. — De la névrite radiographique (Arch. de méd. navale, sept. 1900).
555. WALKOFF. — Phot. Rundschau, 14, p. 189.
556. WALSH. — Troubles généraux succédant à l'exposition aux rayons X (Brit. med. Journ., 31 juillet 1897).
557. WITTLIN. — Les rayons de Röntgen exercent-ils une action quelconque sur les bactéries? (Ann. de micrographie, déc. 1896).
558. WITTLIN. — Centralblatt für Bakteriologie, 2, p. 676.
559. WITTLING. — Action des rayons X sur le staphylocoque (Centralbl. f. Bakteriologie u. Parasitenkunde, vol. II, p. 517).
560. WOLF. — Action des Rayons X sur les microorganismes (Berliner medicin. Gesellsch., 2 mars 1896).
561. WOLFENDEN et FORBES ROSS. — The effects produced in cultures of microorganisms (Arch. of the Röntgen Ray, vol. V, 1900).

3. Action biologique des rayons de Becquerel et du radium

562. ASHCKINASS et CASPARI. — 73, Versam. deutscher Naturf. u. Aertzte. — Hambourg, 1903.
563. ASHCKINASS et CASPARI. — Annalen der Physik, 1901, t. VI, p. 570.
564. BARDET. — Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, t. 124, p. 1388.
565. BEAUREGARD et GUICHARD. — Comptes rendus de la Soc. de biologie, 1897, p. 803.
566. BECK et SCHULTZ. — Zeitschr. für Hyg.; 1896, p. 490.
567. BECQUEREL et CURIE (P.). — Action physiologique des rayons du radium (C. R., 1901, t. 132, p. 1289).
568. BERTON. — C. R., 13 juillet 1896.
- 568^{bis}. BLANDAMOUR. — Traitement du lupus par le radium (Thèse de Paris, 26 nov. 1902).
569. BOHN (G.). — Comparaison entre les effets nerveux des rayons de Becquerel et ceux des rayons lumineux (C. R., 1903, t. 137, p. 883).
570. BOHN. — Influence des rayons du radium sur les animaux en voie de croissance (C. R., 1903, t. 136, p. 1012).
571. BOHN. — Influence des rayons du radium sur les œufs vierges et fécondés, et sur les premiers stades du développement (C. R., 1903, t. 136, p. 1085).
572. BOHN. — A propos de l'action toxique de l'émanation du radium (Compt. rendus de la Soc. de Biol., 1903, p. 1655).
573. BOHN. — Action toxique du radium (Rev. scient., 16 janv. 1904, p. 86).

574. BOUCHARD, P. CURIE et V. BALTHAZARD. — Action physiologique de l'émanation du radium (C. R., 6 juin 1904).
575. CASPARI. — Pouvoir bactéricide du radium (Soc. de Méd. berlinoise, 9 et 16 déc. 1903).
576. CHALUPECKY. — Centralbl. f. practic. Augenheilk. (August u. sept. 1903, p. 267).
577. CURIE (P.) et LABORDE (A.). — Sur la radioactivité des gaz qui se dégagent des sources thermales (C. R., 1904, t. 138, p. 1150).
578. DANLOS (H.). — Sur l'action physiologique et thérapeutique du radium (Bull. des Sciences pharm., févr. 1904).
579. DANYSZ (J.). — De l'action pathogène des rayons et des émanations émis par le radium sur différents tissus et différents organismes (C. R., 1903, t. 136, p. 461).
580. DANYSZ (J.). — De l'action du radium sur divers tissus (C. R., 1903, t. 137, p. 1296).
581. DARIER (A.). — Action analgésiante du radium (S. M., 1903, p. 330).
582. DAUPHIN. — Influence des rayons du radium sur le développement et la croissance des champignons inférieurs (C. R., 1904, p. 154, 18 janvier).
583. DUBOIS (Raph.). — La radioactivité et la vie (Revue des Idées, 15 mai 1904, p. 338-349).
584. FIORENTINI et LURASCHI. — Revue internat. d'électrothérapie, février-mars 1897, p. 223.
585. FOVEAU DE COURMELLES. — Les nouveaux résultats thérapeutiques du radium et des corps radio-actifs (Progrès Médical, 1904, p. 353, 28 mai).
586. FRANTZIUS. — Centralblatt für Bakteriologie, 5 mars 1897.

587. GIESEL. — Action physiologique des rayons du radium (Berichte der deuts. chemische Gesells., t. 33, p. 3569).
588. GREEF. — Ueber Radiumstrahlen und ihre Wirkung auf das gesunde und blinde Auge (Deutsche med. Woch., 24 mars 1904).
589. HALKIN (H.). — Ueber den Einfluss der Becquerelstrahlen auf die Haut (Arch. f. Dermat. u. Syph., 65, p. 2).
590. HARDY (W.-B.) et ANDERSON (H. K.). — On the sensation of light produced by radium rays and its relation to the visual purple (P. R. S., vol. 72, n° 484, p. 393).
591. HENRI (V.) et MAYER (A.). — Action des rayons du radium sur l'hémoglobine, les ferments et les globules rouges (C. R., 15 et 22 fév. 1904).
592. HOFFMANN. — Action bactéricide des rayons du radium (A. E. M., 1903, p. 752).
593. HOLTZKNECHT. — Action des rayons du radium sur la rétine (S. M., 1903, p. 201).
594. LEDUC (S.). — Action du radium sur l'œil (A. E. M., 1904, p. 453).
595. LONDON (E. S.). — Action des rayons du radium sur le sens de la vue (A. E. M., 1904, 10 et 25 avril, p. 258 et 298).
596. LONDON (E. S.). — Etudes sur la valeur physiologique et pathologique de l'émanation du radium (Soc. d'Hyg. de Saint-Petersbourg, 15 mars 1904).
597. PISSAREFF (A. de). — L'action des radiations nouvelles sur les êtres vivants (Thèse de Paris n° 515, 1903).
598. PFEIFFER (R.) et FRIEDBERGER (E.). — Ueber die bacterientötende Wirkung der Radiumstrahlen; vorläufige Mitteilung (Berlin. klin. Wochensch., 13 juillet 1903).

- 598^{bis}. PFEIFFER (R.) et FRIEDBERGER (E.). — Action bactéricide du radium sur le bacille typhique et sur le bacille du choléra (A. E. M., 1903, p. 704).
599. SAAKE. — Un facteur jusqu'à présent inconnu de l'action du climat des hautes altitudes (M. M. W., 5 janv. 1904).
600. SCHOLTZ. — Ueber die physiologische Wirkung der Radiumstrahlen und ihre therapeutische Verwendung (Deut. med. Woch., 14 janv. 1904).
601. WALKOFF. — Action physiologique des rayons du radium (Photogr. Rundschau, octobre 1900).
- 601^{bis}. WILLCOCK (E.). — Action du radium sur certains animaux inférieurs (Journ. of Physiol., t. xxx; 25 février 1904).

4. Action biologique des rayons de Blondlot (rayons N).

602. BLONDLLOT (R.). — Sur une nouvelle action produite par les rayons N et sur plusieurs faits relatifs à ces indications (C. R., 1903, t. 137, p. 166).
603. BLONDLLOT. — Sur de nouvelles actions produites par les rayons N (C. R., 1903, t. 137, p. 684).
604. BLONDLLOT. — Sur le renforcement qu'éprouve l'action exercée sur l'œil par un faisceau de lumière lorsque ce faisceau est accompagné de rayons N (C. R., 1903, t. 137, p. 831).
605. BORDIER. (H.). — Influence des rayons N sur le développement des tissus végétaux (Soc. méd. des Hôpit. de Lyon. Séance du 14 juin 1904).
606. CHARPENTIER (A.). — Action physiologique des rayons N et des « radiations conduites » (C. R. 1904, t. 138, p. 270).

607. CHARPENTIER (A.). — Action des sources de rayons N sur la sensibilité olfactive (C. R., 29 février 1904).
608. CHARPENTIER. — Action physiologique des rayons N (C. R., 7 mars 1904).
609. CHARPENTIER. — Action physiologique des rayons N_i de Blondlot (C. R., 14 mars 1904).
610. GUILLEMINOT (H.). — Etat actuel de la question des rayons N (partie physiologique) (A. E. M., 1904, p. 408).
611. LAMBERT (M.) et MEYER (Ed.). — Action des rayons N sur les phénomènes biologiques (C. R., 1904, t. 138, p. 1284, 24 mai).

5. Généralités

612. BAZIN (R.). — Les peintres en province. (Les Nouvelles littéraires, 28 févr. 1904),
- 612^{bis}. FEUCHTERSLEBEN (E. de). — Hygiène de l'âme. — Paris, J.-B. Baillière, 1904.
613. HUGO (V.). — Les Contemplations, I et II. — Paris, A. Lemerre.
614. MAUS (J.). — A la louange de la Mer et de l'Amour. — Paris, P. Ollendorff, 2^e Edition, 1901.
615. MICHELET (J.). — L'Amour. — Paris, L. Hachette, 2^e Ed., 1859.
616. MICHELET (J.). — La Femme. — Paris, L. Hachette, 2^e Ed., 1860.
617. MICHELET (J.). — L'oiseau. — Paris, L. Hachette 7^e Ed., 1861.
618. MICHELET (J.). — La mer. — Paris, L. Hachette, 1861.
619. MICHELET (J.). — Bible de l'Humanité. — Paris, F. Chamerot, 2^e Ed., 1864.

620. MICHELET (J.). — L'insecte. — Paris, L. Hachette, 9^e Ed., 1880.
621. OUROUSSOW (M.). — Mary : Histoire d'une âme. — Paris, Fischbacher, 1904.
622. PAPILLON. — La nature et la vie. — Paris, 1869.
623. PAILLASSON (E.). — De quelques modes d'assistance et de protection du nourrisson. — (Thèse de Lyon, 1904).
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	5

I

PARTIE PHYSIQUE

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

★ Le Soleil, source de toutes les énergies terrestres.....	25
★ La lumière dans l'univers.....	27

CHAPITRE II

La lumière. — Sa nature. — Ses propriétés.....	30
★ Historique, 32. — Système de l'émission, 34. — Système des ondulations, 37. — Interférences. — Principe de Young, 39. — Diffraction. — Principe de Huyghens, 42..	
★ La lumière n'est pas simple. — Son analyse. — Le spectre solaire. — Tableau des longueurs d'onde, 43.	
★ Etendue du spectre au-delà des rayons visibles, 46. — Ce qu'il y a au-delà de l'infra-rouge et de l'ultra-violet, 49..	
★ Les raies du spectre visible et invisible, 52.	
★ Rapports des diverses régions du spectre entre elles, 55...	
★ Rapports des ondulations du spectre avec les ondulations voisines. — Théorie de Maxwell-Hertz, 57.	
★ Phosphorescence et fluorescence (dégradation de l'énergie lumineuse), 67.	
★ Résumé des transformations de la lumière par les corps, 74..	

- ★ Absorption exercée par les corps transparents. — Loi de l'absorption. — Thermochrose, actinochrose et cryptochrose, 75.

CHAPITRE III

Les sources de radiations lumineuses et ultra-violettes.... 81

- ★ Lampe à incandescence, 83. — Arc voltaïque, 84. — Etincelle électrique, 87. — Aigrette électrique, 88. — Tube de Geissler, 89.

CHAPITRE IV

Rayons cathodiques, rayons de Röntgen, rayons secondaires de Sagnac. — Leur production. — Leurs propriétés.. 92

- ★ Production et propriétés des rayons cathodiques, 94.
- ★ Expériences de Lénard, 97. — Propriétés des rayons cathodiques exteriorisés (rayons de Lénard), 98.
- ★ Nature des rayons cathodiques et des rayons Lénard, 99.
- ★ Kanalstrahlen ou rayons canaux de Goldstein, 101.
- ★ Rayons X, 102. — Propriétés des rayons X, 104. — Nature des rayons X, 107.
- ★ Rayons secondaires de Sagnac, 109.

CHAPITRE V

Substances radio-actives. — Le radium. — Rayons de Becquerel..... 111

- ★ Historique: — Le rayonnement de l'uranium. — Recherches de M. H. Becquerel, 112. — Radioactivité du thorium et de quelques minéraux, 113.
- ★ Comment on obtient le radium, 116. — Le radium est un corps nouveau, 119. — Caractères des sels de radium, 120. — Le rayonnement du radium, 123.
- ★ L'émanation du radium et la radio-activité induite, 126. — Rapports de l'émanation et de la radio-activité induite, 128.
- ★ Hypothèses sur la cause des phénomènes de radio-activité, 129.

CHAPITRE VI

Les rayons N..... 133

- ★ Découverte, 135. — Sources, 136. — Réactifs et instruments pour l'étude des rayons N. 137. — Propriétés des rayons N, 142.
- ★ Les rayons N₁ 144.

DEUXIÈME PARTIE

Appareils servant à l'application thérapeutique des radiations.....	147
---	-----

CHAPITRE VII.

A) <i>Photothérapie positive générale</i>	149
★ Bains de lumière solaire et électrique, 151.	
B) <i>Photothérapie positive locale</i>	151
★ a) Utilisation de la lumière solaire et de la lumière de l'arc électrique jaillissant entre deux charbons : Appareil de Finsen, 152. — Appareil de Lortet et Genoud, 153. — Appareil du D ^r Schall, 156. — Appareil Foveau de Courmelles et Trouvé, 157. — Appareil Finsen-Reyn, 158. — Appareil A. Bellini, 158. — Appareil de Marie, 160.	152
★ b) Emploi exclusif des rayons chimiques.....	161
Lumière électrique sans chaleur (Tesla), 161. — Emploi de la machine statique comme source de rayons chimiques ; dispositif de Leduc, 163.	
★ c) Renforcement de l'action chimique de l'arc voltaïque. Appareil de Bang, 166. — Appareil de Broca et Chatin, 166.	165
★ Compresseurs, 168. — Considérations générales sur l'emploi de l'arc électrique en photothérapie, 169.	
C) <i>Radiothérapie</i>	172
★ Osmo-régulateur de Villard, 173. — Manière de régler ce tube, 175. — Tube de Müller, à régulateur électrique, 176.	
★ Localisation des rayons actifs : appareil du D ^r Belot, 178.	
D) <i>Radiumthérapie</i>	180
★ Appareils pour l'application du radium sur la peau, 181, 182. — Dispositif de W.-J. Morton pour traiter de larges surfaces, 183. — Tube de Morton pour porter le radium dans les cavités naturelles, 183. — Sonde œsophagienne avec tube de radium, 184. — Etui pour le transport du radium, 185.	

TROISIÈME PARTIE

La mesure des radiations.....	187
-------------------------------	-----

CHAPITRE VIII

Mesure de la radiation actinique solaire	189
--	-----

- ★ Premières recherches de Bunsen et Roscoe, 192. —
Secondes recherches de Bunsen et Roscoe, 194. —
Recherches de divers auteurs, 195. — Recherches de
E. Marchand, 198. — Nos recherches personnelles, 199.
— Notre actinomètre enregistreur, 200. — Précautions
prises, 201.
- ★ Résultats obtenus par ces diverses méthodes 203
 - A) Résultats de Bunsen et Roscoe avec l'actinomètre
à chlore et à hydrogène, 204.
 - B) Résultats expérimentaux dans diverses stations.
sous des latitudes différentes, 205.
 - C) Variations de la radiation chimique dans une
même journée, 208.
 - D) Variations de la radiation chimique avec l'alti-
tude, 210. — Résultats de nos recherches pendant 1903 et
1904 à Lyon, Ambert, Pralognan, Val d'Isère, Bri-
gnais, 212.
 - E) Déductions, au point de vue médical et thérapeu-
tique, de l'ensemble des résultats obtenus, 224.

CHAPITRE IX

- Mesure de la radiation actinique des sources artificielles
de lumière** 22,
- ★ Considérations générales, 227.
 - ★ Actinomètre Bordier-Nogier, 230. — Résultats donnés par
cet instrument, 233. — Conclusions sur la valeur actini-
que des différentes sources lumineuses, 237.

CHAPITRE X

- A). Nécessité des mesures exactes en radiothérapie. L'a-
gent actif en radiothérapie** 240
- ★ Evolution des idées relatives à l'action des rayons X, 242.
— Etat de la question au Congrès d'Electrologie et de
radiologie médicale, le 27 juillet 1900, 248. — Découvertes
de Strater et de Kienböck (1900), 249. — Travaux du
D^r Oudin, 251. — Les rayons X sont l'agent efficace en
radiothérapie, 252.
- B). Appareils de mesure utilisés en radiothérapie** 253
- ★ Spintermètre, 253. — Conditions à réaliser pour qu'il
fournisse des données utiles, 255.
 - ★ Radiochromomètre de L. Benoist : définition de la qualité des
rayons X, 257.

- ★ Chromoradiomètre de Holtzknecht ; définition de la quantité de rayons X absorbés, 260. — Résultats fournis par le radiochromomètre, 264. — Critiques à adresser à l'appareil, 265.
- ★ Radiomètre de Freund, 267. — Inconvénients qu'il présente, 268.
- ★ Skiamètre de Seifert, 268. — Milliampèremètre d'Arsonval-Gaiffe pour tubes à rayons X, 269.

CHAPITRE XI

Mesure des radiations de Becquerel..... 270

- ★ Le radiochromomètre ne peut servir que pour les rayons β , 270. — Emploi du chromoradiomètre de Holtzknecht, 271.

II

PARTIE PHYSIOLOGIQUE

CHAPITRE XII

Action biologique de la lumière solaire et électrique..... 275

- ★ Action de la lumière sur les **microbes**..... 275

Recherches spéciales sur les microorganismes pathogènes, 280. — A quels rayons du spectre est dévolue l'action bactéricide, 282. — Mécanisme de l'action intime de la lumière sur les bactéries, 285. — Action de la lumière sur les fermentations, les zymazes, les toxines, 286. — Purification du sol et de l'eau à la surface du globe par l'action combinée de la lumière et de l'air, 288.

- ★ Action de la lumière sur les **végétaux**..... 289

A) Phénomènes *mécaniques* dus à la lumière, 289.

B) Phénomènes *chimiques* dus à la lumière, 295. — Méthodes utilisées pour étudier l'action des différentes radiations, 298. — Les rayons actiniques sont les plus actifs, 299.

C) Phénomènes *morphologiques* produits par la lumière, 301. — Action sur le tissu assimilateur, 301 ; les organes reproducteurs, 301 ; la germination des graines, 302.

★ Action de la lumière sur les **animaux**..... 302

A) Phénomènes *mécaniques* dûs à la lumière, 303. — Action des lumières colorées, 304. — Déplacement des plastides, 306. — Les rayons chimiques promoteurs d'énergie, 307.

B) Phénomènes *chimiques* dûs à la lumière, 308. — Action sur les pigments, 308 ; sur la pigmentation, 310. — Action sur les échanges vitaux en général, 311.

C) Phénomènes *morphologiques* produits par la lumière, 314. — Action sur le développement, 314 ; sur l'activité karyokinétique, 315 ; sur la production des sexes, 316.

★ Action de la lumière sur l'**homme**..... 316

A) Action de la lumière sur l'*organisme* humain, 317. — Action générale, 317. — Action locale ou action sur le tégument, 319. — Pathogénie du coup de soleil et du coup de soleil électrique, 321. — Effet lent et long-temps prolongé de la lumière : pigmentation, 325. — Maladies produites par l'excès des rayons chimiques, 327.

B) Action de la lumière sur l'*idéation*..... 328
Les fleurs, les oiseaux nous rappellent le soleil, 329. — Ce qu'il peut y avoir de lumière dans un regard, 330. — Les âmes éprises de lumière, 331. — Le deuil quotidien du monde, 331. — Modifications psychiques sous l'influence des couleurs, 332. — La lumière et la fatigue, 333. — Délire nerveux consécutif à la cécité, 333. — La lumière et le travail intellectuel, 333.

CHAPITRE XIII

Action physiologique des rayons de Röntgen..... 335

★ Action des rayons de Röntgen sur les **microorganismes**.. 337

★ Action des rayons de Röntgen sur les **végétaux**..... 341

★ Action sur les **animaux homoplastidaires**..... 343

★ Action sur les **animaux polyhétéroplastidaires**..... 343

Action *générale*, 343. — Action sur la grossesse, 346 ; sur la spermatogenèse, 347. — Action *locale*, 348. — Action sur les animaux rendus artificiellement malades, 351.

★ Action sur l'**homme**..... 353

Action *générale*, 353. — Vomissements, 353. — Palpitation ; Cardialgie, 354. — Tremblements, 354. — Troubles de sensibilité, 355. — Blépharites, conjonctivites, 355. — Grossesse, 356.

Action <i>locale</i> , 357. — A) Radiodermite aiguë, 358.	
— Naissance, évolution et terminaison de la radiodermite, 359. — Premier degré, 359; deuxième degré, 359; troisième degré, 360; quatrième degré, 361; cinquième degré, 361. — Cicatrisation, 362.	
Traitement de la radiodermite grave, 362.	
B) Radiodermatite (radiodermite chronique), 364. —	
Symptômes et évolution, 364. — Son traitement, 366.	
Anatomie pathologique des radiodermites.....	367
Physiologie pathologique des radiodermites.....	370

CHAPITRE XIV

Action physiologique des rayons de Becquerel et des rayons du radium.....	377
★ Action du radium sur les microorganismes	377
★ Action du radium sur les végétaux	380
★ Action du radium sur les animaux élémentaires	382
Effet obtenu sur les animaux en voie de croissance, 383. — Portée philosophique des résultats constatés par Bohn, 384. — Effets de l'émanation, 387.	
★ Action du radium sur les vertébrés	388
Action sur la peau, 388. — Action sur le système nerveux, 389. — Insensibilité des séreuses et en particulier du péritoine, 390.	
Effets de l'émanation, 391.	
★ Action du radium sur l' homme	392
Radiumdermites, 392. — Radiumdermatites, 396. — Action pernicieuse sur l'œil, 396. — Action de l'émanation et de la radio-activité induite, 397.	
★ <i>Conditions qui déterminent les réactions de la peau aux rayons de Röntgen et à ceux de Becquerel</i>	399
Stade de latence, 399. — Influence du temps de pose, 400. — Y a-t-il cumulation d'action ? 401. — Différence de sensibilité de diverses régions du corps, 403. — Fragilité plus grande de la peau malade, 404. — Sur quels tissus agissent de préférence les radiations, 405. — La question de l'idiosyncrasie, 406.	
★ Anatomie pathologique des lésions dues au radium.....	407
★ Action du radium sur la matière vivante.....	408
Action sur les pigments, 409. — Action sur les ferments et les venins, 410. — Action sur les matières colloïdes, 411.	
★ Conclusions sur l'action du radium.....	412

CHAPITRE XV

Action physiologique des rayons de Blondlot.....	415
★ Action sur les ferments solubles	415
★ Action sur les végétaux	417
★ Action sur l'homme	417

CONCLUSIONS.....	421
------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE ANALYTIQUE.....	425
-------------------------------	-----

